ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN XVI Julio 1957 NUMERO 63

SUMARIO

070.432:550(100)'1957/58'
Editorial: El comienzo del Año Geofísico Internacional 123

577.15:576.34
El control de los procesos metabólicos — H. A. KREBS — 125

92:54:413
Macquer, primer lexicógrafo químico — DOUGLAS McKIE — 133

591.463.1:599
Los espermatozoos de los mamíferos — M. W. H. BISHOP y C. R. AUSTIN — 137

538.245
Los recintos ferromagnéticos — L. F. BATES — 151

581.143:547.757
El ácido gibberélico — P. W. BRIAN y JOHN FREDERICK GROVE — 161

049.3
Revista de libros 172

Revistas resumidas de libros 179

Notas sobre los colaboradores 180

Libros recibidos .. ..Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
(*Ediciones extranjeras:* G. N. J. BECK)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

El comienzo del Año Geofísico Internacional

Esta notable empresa, en la que colaboran 56 naciones, es una a manera de ataque concertado de numerosos problemas relacionados con lo que pudiéramos llamar las geociencias, para cuya solución son necesarias una serie de observaciones concurrentes en diversas regiones de nuestro globo. Una vez terminada la fase preparatoria de este ataque, las operaciones propiamente dichas se han iniciado el 1 de julio de 1957, aunque ya durante las semanas precedentes se realizaron numerosas observaciones para probar la puesta a punto del instrumental y la pericia de los observadores en las técnicas que han de aplicarse.

La preparación del programa ha sido labor del Comité Especial del Año Geofísico Internacional, nombrado por el Consejo Internacional de Uniones Científicas. Este Comité celebró una reunión preparatoria en Bruselas en 1953, y reuniones plenarias en Roma (1954), Bruselas (1955) y Barcelona (1956). En las dos últimas trabajó conjuntamente con un Comité Asesor compuesto de representantes de todas las naciones que cooperan en esta empresa. En cada una de ellas funciona un Comité Nacional que regula la participación del país en el programa general. Una serie de discusiones recientes ha resultado en ciertas modificaciones de detalle en los planes nacionales, con lo que se ha conseguido una más adecuada distribución de las estaciones de observación. También se han celebrado conferencias regionales para tratar de las cuestiones de especial interés en determinadas regiones geográficas. Tres de estas conferencias se han ocupado de los problemas del Antártico; otras, respectivamente, del Artico, el Hemisferio occidental, Europa oriental y la región del Pacífico occidental.

Característica del Año Geofísico Internacional es la importancia que se atribuye a las observaciones en el Antártico, donde hasta ahora no se han realizado observaciones simultáneas en diversas estaciones de los fenómenos geofísicos; durante los dos Años Polares Internacionales (1882–83 y 1932–33) no hubo estación alguna en esa región. En el caso presente habrá 57 estaciones, establecidas por 12 países, dentro del Círculo Antártico. Muchas de las estaciones establecidas en el continente antártico fueron instaladas durante el verano de 1955–56, y algunas de ellas han realizado ya observaciones. La comunicación entre las estaciones antárticas y el resto del mundo se realiza por medio de una red completa de radiotransmisiones, habiéndose establecido todo un sistema de sintonías para todas las estaciones, tanto las fijas como las que funcionan en trineos, vehículos-oruga y aviones. Los informes meteorológicos y otros datos de interés científico, así como las cuestiones administrativas y las noticias personales pueden transmitirse de ese modo con rapidez y exactitud.

El Año Geofísico Internacional se ha hecho coincidir con un período de máxima o cuasimáxima actividad solar. El interés que presentan los efectos en la Tierra de las alteraciones solares hace necesaria la intensa observación de los mismos en dicho período. Sin embargo, no es posible predecir exactamente cuándo se hayan de producir tales fenómenos, aunque las observaciones solares pueden indicar la probabilidad de su ocurrencia. Para advertir a los observadores de la inminencia de una erupción y permitirles así estudiar las fases iniciales se ha establecido un organismo internacional en Fort Belvoir, cerca de Wáshington: una radioemisora del *National Bureau of Standards* de los Estados Unidos. A base de los datos recibidos de las estaciones de observación solar, Fort Belvoir anunciará las alertas y, si los datos a continuación recibidos indican la inminencia del fenómeno, Fort Belvoir declarará abierto un Intervalo Especial Universal, que se iniciará ocho horas después de la declaración. Comenzarán entonces a realizarse intensas observaciones de todo orden, las cuales continuarán hasta que se cierre el Intervalo, si la erupción no ha llegado a producirse, o hasta que ésta haya cedido en intensidad o traspasado el limbo solar. Los mensajes de alerta se emitirán diariamente a las 16.00 H.U. durante todo el período de alerta o de Intervalo Especial Universal, indicando si debe continuarse o suspenderse.

Se han establecido centros regionales de alerta en Europa occidental, Eurasia, el Pacífico occidental y Hemisferio occidental; hay también otros centros «asociados», por ejemplo en Antártica y Australia. El organismo mundial en Fort Belvoir enviará un telegrama directo a todos los centros regionales y organizará una emisión de señales especiales dos veces por día en las radioemisiones normativas del *Bureau of Standards*. Cada

centro regional reunirá entonces en forma resumida todas las observaciones inmediatas de los fenómenos geomagnéticos y aurorales, erupciones solares, radiofadings, etc., y se encargará de distribuir dicha informacion telegráficamente a todas las estaciones de su región.

Una característica especial del programa de observaciones será el empleo de cohetes y satélites artificiales para extender el campo de observación mucho más allá de los 30 km de altura a que alcanzan los globos. Los Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña y Francia han preparado sendos programas para el envío de cohetes. Estos penetrarán en la ozonosfera y permitirán fotografiar el espectro solar en la región extrema del ultravioleta y roentgeniana. Otros cohetes llevarán magnetómetros para la detección y medida de las capas de corrientes circulantes cuya existencia se ha postulado para explicar algunas variaciones observadas en el campo magnético terrestre. La mensuración directa de las densidades iónica y electrónica en y entre las diversas capas ionizadas de la ionosfera es asimismo otra observación posible, así como la determinación de la temperatura, presión, densidad y composición de la atmósfera a grandes alturas. Es de esperar que el envío de algunos cohetes coincidirá con una gran erupción solar.

La duración del vuelo de un cohete no pasa de unos minutos. Los Estados Unidos y la Unión Soviética se proponen utilizar satélites artificiales que se trasladarán alrededor de la Tierra a una altura de varios centenares de kilómetros; desde ellos podrá recibirse por radio una serie de datos del máximo interés. Los Estados Unidos han anunciado ya que se proponen lanzar doce satélites artificiales durante el Año Geofísico; el primero de ellos se elevará a principios del próximo año. El satélite tendrá entre 50 y 75 cm de diámetro y será lanzado por medio de un cohete triple. Cuando se encuentre a una altura de unos 400 km será proyectado en dirección tangencial a la Tierra a una velocidad de unos 30 000 km/h, esperándose obtener una órbita ligeramente elíptica que en su apogeo se aleje de la Tierra unos 1250 km. El plano de dicha órbita tendrá una inclinación de 40° respecto al ecuador. Al girar la Tierra, el satélite (que circunvolará nuestro globo en unos 90 minutos) pasará sobre diferentes regiones de la Tierra durante cada traslación. En su interior habrá una serie de complejos instrumentos en diminuta escala, hoy en construcción, y entre ellos un radioemisor que enviará señales a la Tierra, desde donde se seguirá el curso del satélite por medio de instalaciones de radar. A fin de obtener también fotografías y observaciones visuales del seudoastro se ha establecido una compleja organización que exije una extremada precisión horaria.

La resistencia de la atmósfera ocasionará la perdida de velocidad del satelite, que iniciará una caída en espiral hacia la Tierra. Al descender a regiones atmosféricas más densas, su temperatura aumentará y, finalmente, la esfera se desintegrará y vaporizará, muy a la manera de una estrella fugaz. Para hacer un cómputo de su órbita se utilizará un computador electrónico, de cuyas operaciones se espera deducir datos sobre la densidad de la atmósfera a diferentes alturas. También se medirá la radiación ultravioleta y de rayos X procedente del Sol y se investigará el campo magnético terrestre sobre la ionosfera; la radiación cósmica se estudiará por medio de contadores, esperándose obtener, en particular, datos de valor sobre la región de bajas energías del espectro de rayos cósmicos. Se calcula obtener asimismo alguna información sobre los micrometeoritos y sobre las densidades del polvo y de los átomos e iones de hidrógeno en la alta atmósfera. La Unión Soviética proyecta lanzar uno o dos satélites, pero hasta ahora no se ha publicado información alguna sobre las órbitas que han de seguir.

Los datos y observaciones que se vayan acumulando durante el programa de 18 meses del Año Geofísico Internacional proporcionarán la base de numerosas investigaciones en una gran variedad de problemas geofísicos. Han de pasar muchos años antes de que todo ese conjunto de conocimientos pueda analizarse. En el Comité Especial se ha discutido el importante problema de cuál sea el mejor procedimiento para comunicar a los investigadores los datos que se obtengan: se ha decidido establecer tres Centros Mundiales de Información (uno en Estados Unidos, otro en la Unión Soviética y otro en Europa) donde se guardarán todas las observaciones, magnetografías, ionogramas, etc. recogidos. Se han establecido una serie de manuales de instrucciones para guiar a los observadores en las operaciones de mantenimiento y puesta a punto de los instrumentos, en la interpretación y unificación a una escala determinada de los registros obtenidos, y en la presentación de los resultados.

La iniciación de tan formidable empresa significa la culminación de una serie de preparaciones que han durado años y se han extendido a todas las regiones del mundo. A todos los que han hecho posible tal labor y a quienes han de tomar parte en la misma deseamos el más señalado éxito.

El control de los procesos metabólicos

H. A. KREBS

Durante los últimos treinta años la investigación bioquímica ha mostrado que los principales procesos metabólicos se desarrollan a través de una serie de estadios intermedios. Hoy día se empieza a proceder del análisis — que bien podría llamarse cualitativo — de los procesos metabólicos al análisis cuantitativo. Este análisis intenta elucidar cuáles son los factores que determinan las velocidades de cada proceso metabólico individual que hacen que la serie compleja de cambios metabólicos que continuamente tienen lugar en los seres vivos se desarrollen de acuerdo a sus necesidades respectivas y a las condiciones ambientales.

La investigación de los procesos metabólicos durante los últimos treinta años ha ido dirigida principalmente a la elucidación de los estadios intermedios y de las propiedades de las enzimas que controlan cada uno de dichos estadios. Gracias a los nuevos medios hoy disponibles — tales como las técnicas enzimológicas, el uso de isótopos y los métodos de análisis cromatográfico y óptico — se han logrado notables éxitos y hoy día se conocen ya los principales estadios del metabolismo intermediario.

Aunque todavía quedan por establecer muchos detalles de los cauces metabólicos, el interés se ha desviado recientemente hacia otros aspectos del metabolismo intermediario, especialmente los mecanismos que regulan las velocidades metabólicas [1–4]. Es un hecho bien conocido que no son constantes, sino que varían según el estado fisiológico de la célula. Pueden aumentar considerablemente, por ejemplo, cuando un tejido tal como el músculo o una glándula pasa del estado de reposo al de actividad. El tipo de proceso metabólico intercelular puede variar cuando cambian las circunstancias. Así, la energía se puede obtener por oxidación si existe aire disponible, o por fermentación de azúcar si no lo hay. O sea que la célula posee mecanismos que adaptan las actividades metabólicas a las diversas necesidades y circunstancias.

Se considera corrientemente que el control de los procesos biológicos es función de las hormonas y del sistema nervioso, y no hay duda de que ambos toman parte en algunos de los mecanismos que controlan las velocidades de reacción en los organismos superiores. Pero también existen mecanismos de control en los organismos vivos inferiores, tales como los seres unicelulares, que carecen de hormonas y nervios. Estos mecanismos de control «primitivos» se encuentran también en los animales superiores [5]; en realidad constituyen en éstos los sistemas básicos sobre los cuales se superpone la acción de las hormonas y del sistema nervioso.

El conocimiento del metabolismo intermediario y de los sistemas enzimáticos ha progresado suficientemente en los últimos años, y hoy se encuentra preparado ya el terreno para un estudio de estos mecanismos «primitivos» que controlan las velocidades de los procesos metabólicos y para intentar explicar la manera en que las células adaptan las velocidades de algunas reacciones a las necesidades del momento. Esto ha ocurrido especialmente con el estudio de los procesos que suministran energía.

FUNCION ENZIMA-SUBSTRATO

La unidad básica que determina las velocidades es el sistema enzima-substrato. Las cantidades de enzima y substrato juntas limitan las velocidades máximas que se pueden alcanzar en cualquier condición dada. En condiciones fisiológicas, tales velocidades máximas son excepcionales; normalmente, aunque no siempre, es la cantidad de substrato el factor que marca el límite. El hecho de que los productos intermediarios no se acumulen muestra que los substratos de las enzimas intermediarias desaparecen tan rápidamente como se van obteniendo. El promedio de vida-media de los ácidos del ciclo del ácido tricarboxílico en un tejido de respiración rápida es de unos pocos

Las siguientes abreviaturas se emplearán en las fórmulas que se detallen en este artículo:

ATP	adenosíntrifosfato
ADP	adenosíndifosfato
ITP	inosíntrifosfato
IDP	inosíndifosfato
DPN	nucleótido de difosfopiridina
$DPNH_2$	nucleótido de difosfopiridina reducido
CoA o HS-CoA	coenzima A
P	fosfato

segundos [6]. Las cantidades de enzimas en el tejido son suficientes para actuar sobre los productos intermediarios tan pronto como se forman; es decir, la cantidad de substrato disponible es el factor que limita la velocidad a la cual tienen lugar los pasos intermedios.

Se basa esta conclusión en el hecho que la adición de productos intermediarios aumenta con frecuencia la velocidad de los procesos intermediarios. Por ejemplo, en el ciclo del ácido tricarboxílico, todos los intermediarios estimulan la velocidad respiratoria de las preparaciones de tejidos [7]. Esto indica que las enzimas que actúan sobre los substratos adicionados no son utilizadas al máximo cuando son oxidados los substratos endógenos, tales como la glucosa. Se pueden aplicar análogas consideraciones a la fermentación anaerobia del ácido láctico, puesto que los tejidos animales pueden formar ácido láctico más rápidamente a partir de hexosa-difosfato que a partir de glucosa [8].

REGULADORES DEL METABOLISMO

Aunque según esto la velocidad de muchos pasos intermediarios del metabolismo depende principalmente de la concentración de los substratos, no ocurre así en todos los pasos. Existen algunas reacciones, aunque relativamente pocas, en las que las velocidades dependen de otros factores y no de las cantidades de enzima o substrato. Esas reacciones reguladoras del metabolismo son las realmente interesantes en relación con el control del mismo. Su estudio presenta dos problemas principales: el primero, la identificación de los reguladores; y el segundo, el análisis de los mecanismos que controlan sus velocidades.

Hay un principio general que puede servir de guía en la búsqueda de reguladores. Puesto que las reacciones reguladoras tienen distinta velocidad, el nivel de concentración del substrato del regulador debe variar según la velocidad. Debe aumentar cuando disminuye la velocidad de la reacción; no obstante, el grado de aumento dependerá de la posición de equilibrio del paso precedente. El estudio del nivel de concentración de los metabolitos intermediarios, especialmente el cambio de concentraciones en estado estable producido por una modificación de las condiciones ambientales, puede proporcionar información sobre la naturaleza de los reguladores y mecanismos de control. F. Lynen [2, 9], por ejemplo, encontró que el cambio de condiciones aerobias a anaerobias en la fermentación de células de levadura va acompañada de un aumento

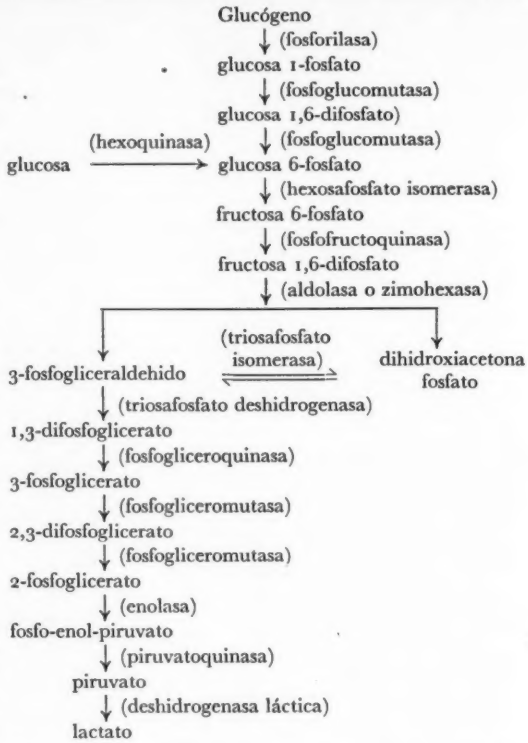


FIGURA 1 – *Fermentación del ácido láctico (glucolisis anaerobia). Cambios intermediarios de la estructura carbónica de los hidratos de carbono. (Los nombres de las enzimas responsables de cada estadio van entre paréntesis.)*

de fosfato intracelular, lo cual indica que es reguladora de la fermentación una reacción en la que interviene el fosfato.

Sin embargo, debido a la falta de métodos adecuados de análisis se sabe muy poco todavía sobre las concentraciones en estado estable de los metabolitos intermediarios. En la actualidad hay varios laboratorios tratando de elaborar técnicas analíticas que sirvan a este objeto [4, 11, 12].

REGULADORES DE LA GLUCOLISIS ANAEROBIA

De los doce pasos principales que tienen lugar en la glucolisis anaerobia (Fig. 1), dos de ellos han sido considerados por diversos autores como reguladores de la misma. El primero es la reacción de la hexoquinasa [8], mediante la cual la glucosa se convierte en glucosa 6-fosfato, actuando el ATP como agente fosforilizante. Esta reacción es la iniciadora probable de todas las reacciones metabólicas importantes de la glucosa: la fermentación anaerobia, la oxidación total, y la transformación

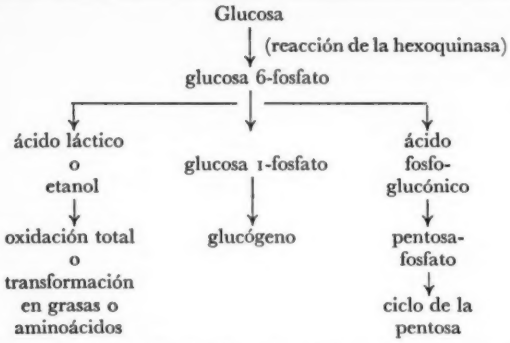


FIGURA 2 – *Representación esquemática de los cauces metabólicos posibles que se abren ante la glucosa y la glucosa 6-fosfato.*

en glucógeno, grasas, aminoácidos y otros constituyentes de la célula (Fig. 2). Aunque es evidente que la reacción de la hexoquinasa (u otra íntimamente relacionada con ella) determina la velocidad de consumo de glucosa, no es capaz de controlar la producción de energía a partir de la glucosa debido a la variedad de cauces que se abren a la glucosa 6-fosfato.

La reacción de la triosafosfato-deshidrogenasa se ha considerado como el segundo regulador, el

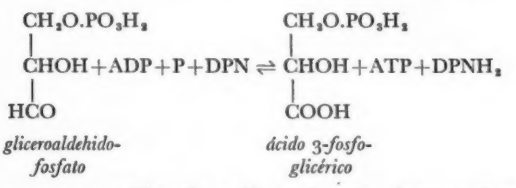


FIGURA 3 – *Transformación total en los sistemas triosafosfato-deshidrogenasa. Esta es la resultante de dos pasos importantes, los catalizados por la triosafosfato-deshidrogenasa y por la fosfogliceroquinasa* [10].

cual decide la velocidad de producción de energía a partir de la glucosa 6-fosfato. Esta es una reacción compleja en la cual participan el nucleótido de fosfopiridina, adenosínfosfato y fosfato (Fig. 3). Queda claro por la formulación que la reacción no puede realizarse a menos que haya disponible adenosínfosfato y fosfato, que son precisamente las substancias que quedan disponibles cuando hay consumo de energía. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el control de la velocidad depende no tanto de la presencia o ausencia de estos factores como de sus niveles de concentración; la velocidad decrece incluso antes que el adenosínfosfato o el fosfato desaparezcan completamente. También se deduce que la velocidad de la reacción de la triosafosfato-deshidrogenasa puede ser influenciada por cualquier proceso que elimine o añada adenosínfosfato o fosfato. La reacción principal que elimina estos dos reactivos es la respiración, junto con la fosforilización oxidante. De aquí que la respiración inhiba la fermentación; ésta es la interpretación del efecto de Pasteur (la inhibición de la fermentación por el oxígeno) [1, 2]. Por otra parte, cualquier proceso que requiera energía estimulará, dentro de ciertos límites, la fermentación puesto que producirá ADP o fosfato.

Aunque es muy probable que este mecanismo actúe de esta forma, todavía quedan sin aclarar algunos aspectos de la utilización de la glucosa [9]. La interrupción de la reacción de la triosafosfato-deshidrogenasa explica la interrupción de la formación de ácido láctico, pero no explica el descenso en la utilización del azúcar. La falta de eliminación de triosafosfato conduciría a la acumulación de fructosa-difosfato, por la fácil reversibilidad de la reacción de la aldolasa (Fig. 1). Pero el paso entre fructosa 1:6-difosfato y fructosa 6-fosfato no es fácilmente reversible y por tanto la acumulación de triosafosfato o fructosa 1:6-difosfato no puede, por acción de masas, evitar la reacción de la hexoquinasa o la conversión de glucosa 6-fosfato en fructosa 6-fosfato y fructosa 1:6-difosfato. Se supone, por el contrario, que la concentración relativamente alta de adenosíntrifosfato requerida para la inhibición de la reacción de la triosafosfato-deshidrogenasa, facilita la formación de glucosa 6-fosfato y de fructosa 1:6-difosfato a partir de la glucosa o del glucógeno. Estos factores adicionales deben ser los responsables de la disminución del consumo de azúcar cuando las condiciones cambian de anaerobiosis a aerobiosis. Se han sugerido [9] la posibilidad de que la velocidad de reacción de la hexoquinasa podría estar controlada por los fosfatos de hexosas que se formen. Una observación importante relacionada con este punto, es la inhibición libre de la hexoquinasa por la glucosa 6-fosfato [13, 14]. La glucosa 6-fosfato, aún en concentraciones muy bajas del orden de $0{,}5 \times 10^{-3}$ M, origina una inhibición del 40%. Es ciertamente verosímil que esta inhibición, o los efectos análogos en otros estadios de la glucolisis, desempeñen un papel en el mecanismo de control, pero antes de aceptarlo como un hecho comprobado son precisas más investigaciones, sobre todo en el estudio de las concentraciones en estado estable de los intermediarios fosforilados, de la cinética de los sistemas de enzimas participantes y de las inhibiciones específicas por los metabolitos intermediarios.

También se ha considerado si la reducción en el

consumo de azúcar en presencia de oxígeno estaría originada por una acción directa del oxígeno sobre una enzima, como por ejemplo, por la oxidación de un grupo —SH que pudiera inactivar de forma reversible una enzima [15–17, 9]; pero los resultados parecen contradecir esta hipótesis. En una variedad de condiciones distintas, la fermentación puede alcanzar el nivel anaerobio en presencia de oxígeno, por adición de dinitrofenol, cianuro o isonitrilo.

REGULADORES DE LA RESPIRACION

Cuando se libera energía por la oxidación de hidratos de carbono, aminoácidos o grasas, tienen lugar más de un centenar de estadios intermedios, de los cuales sólo unos pocos son reguladores. En la respiración, los reguladores entran en función en dos tipos de pasos: primero, en aquéllos en los que el consumo total de oxígeno está ya determinado (*v.g.*: aportación de energía); segundo, cuando después de una degradación parcial la reacción puede seguir varios cauces distintos.

Del hecho que los productos intermediarios no se acumulan, se deduce que estos pasos que inician la oxidación de un substrato figuran entre los reguladores de la respiración. Estas reacciones también determinan qué substrato, en una mezcla, es atacado preferentemente — hidratos de carbono, ácidos grasos o aminoácidos — para producir energía. A lo largo de la serie de pasos metabólicos existen muchos puntos de ramificación donde se puede seguir más de un camino a través de un metabolito intermedio. En el esquema de la Fig. 4 se muestran los principales pasos en el metabolismo de los hidratos de carbono y de los ácidos grasos donde puede tener lugar la ramificación. En estos puntos de ramificación se decide si la glucosa se desdobla para producir energía o se acumula en forma de glucógeno; si la glucosa, por la vía acetil-coenzima A, se convierte en grasa o si la grasa se desdobla para producir energía; si se forman cuerpos cetónicos a partir de los ácidos grasos o de la acetil-coenzima A o se eliminan por vía del ciclo del ácido tricarboxílico; si los intermediarios del ciclo del ácido tricarboxílico son oxidados o, por otra parte, utilizados para proporcionar esqueletos de carbono para la síntesis de aminoácidos, porfirinas o esteroides.

ESTRUCTURACION ENZIMATICA DE LOS MECANISMOS DE CONTROL

Antes de comenzar el análisis de los mecanismos de control que operan en estas reacciones regu-

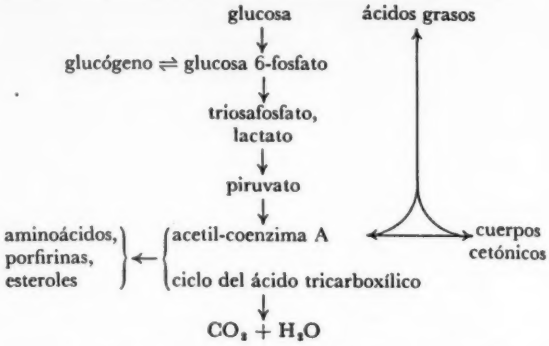


FIGURA 4 – *Ejemplos de los puntos de ramificación en el metabolismo intermediario de los hidratos de carbono y los ácidos grasos.*

ladoras conviene describir la situación en términos de la química enzimológica. Se pueden establecer dos tipos de situaciones. Las rutas metabólicas alternativas se originan o bien por una elección entre varias reacciones posibles (*v.g.*: el desdoblamiento de hidratos de carbono, grasas o proteínas cuando se requiere energía) o bien por una elección de dirección en los cauces disponibles (*v.g.*: síntesis o degradación de ácidos grasos). En el primer caso, las reacciones que tienen lugar son totalmente diferentes; en el segundo, las reacciones se mueven en direcciones opuestas.

Un examen más detenido muestra en el primer caso que las reacciones alternativas que se presentan cuando las células tienen la posibilidad de obtener energía a partir de una variedad de substratos distintos, no son procesos completamente

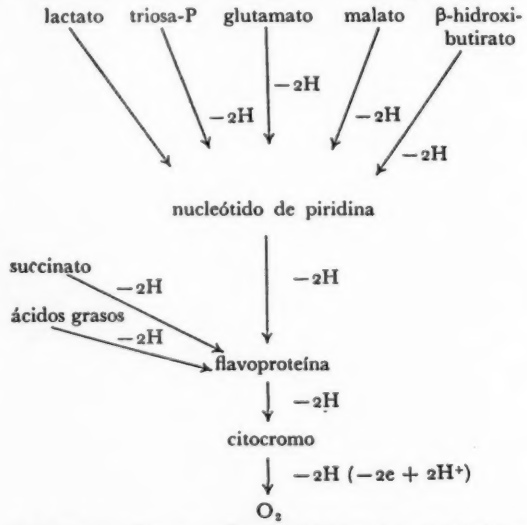


FIGURA 5 – *Cauces confluentes del transporte de hidrógeno desde los diferentes substratos al oxígeno molecular.*

separados e independientes. La oxidación de un substrato por oxígeno molecular generalmente requiere tres tipos de catalizadores dispuestos en serie. Son respectivamente los nucleótidos de piridina, las flavoproteínas y las ferroporfirinas. Sólo el primer paso de esta sucesión compleja varía según el substrato; los demás pasos son comunes a las diversas reacciones posibles (Fig. 5). Se han elegido para ilustrar este principio cinco substratos, que representan la gran mayoría de los metabolitos aportadores de energía. En cada caso, la oxidación comienza con un transporte de átomos de hidrógeno a un reactivo común, el DPN.

Los ácidos grasos y el succinato constituyen una excepción parcial, pero en estos casos la mayoría de los pasos intermedios son compartidos por los otros substratos. Los ácidos grasos y el succinato ceden hidrógeno atómico directamente a la flavoproteína, lo cual supone una desviación de la regla general exigida por las características termodinámicas de estos substratos.

La elección de substrato significa una lucha de varias substancias por apoderarse de un mismo catalizador. La mayoría de los substratos compiten directamente por el DPN; los ácidos grasos, el succinato y el $DPNH_2$ compiten por la flavoproteína. La elección de substrato a oxidar depende de ciertas propiedades físicoquímicas tales como las velocidades relativas a las cuales el substrato reacciona con el agente común.

De características similares, o sea entrañando una competición entre substratos, parece ser el mecanismo de control en uno de los puntos de ramificación del metabolismo donde se determina la suerte del ácido acético, reaccionando en forma de acetil-coenzima A. Entre los cauces principales abiertos a la acetil-coenzima A en el tejido hepático se encuentra la conversión en acetoacetato (cetogénesis) o la oxidación completa a anhidrido carbónico y agua a través del ciclo del ácido tricarboxílico (anticetogénesis) (Fig. 4). El acetoacetato se forma por la condensación de dos moléculas de acetato, mientras que la oxidación, por vía del ciclo del ácido tricarboxílico requiere la condensación de acetato con oxalacetato. Esto parece indicar que la disponibilidad de oxalacetato es el factor clave en el control de la cetogénesis y anticetogénesis [18]. Sin embargo, los ensayos experimentales en los organismos intactos no han logrado confirmar esta teoría; el succinato que en el cuerpo vivo proporciona prontamente oxalacetato, no alivia la acidosis, ni en los diabéticos humanos [19] ni en las ratas [20, 21]. Por otra parte, el oxalacetato es claramente anticetogénico en mitocondrios aislados. Los ácidos grasos producen cuerpos cetónicos en mitocondrios hepáticos en ausencia de oxalacetato, pero se oxidan en el ciclo del ácido tricarboxílico cuando se añade oxalacetato [22]. La disponibilidad de oxalacetato puede entonces, al menos en ciertas condiciones, decidir si se acumulan los cuerpos cetónicos o se oxidan totalmente los ácidos grasos.

Los experimentos con substancias que alteran el ciclo del ácido tricarboxílico y que, por tanto, pueden reducir la aportación de oxalacetato, llevan a la misma conclusión. El malonato que impide la oxidación del succinato, y los iones amonio que transforman el α-cetoglutarato en glutamato, son ambos cetogénicos [23]. Estas observaciones muestran el papel fundamental del oxalacetato, pero dada la poca información que se tiene sobre los niveles estables del oxalacetato, todavía no puede decirse que esté completamente aclarado el mecanismo que controla la cetogénesis. Se conocen por lo menos cinco reacciones independientes que dan lugar a la formación o desaparición del oxalacetato:

malato + DPN	⇌ oxalacetato + $DPNH_2$ (deshidrogenasa málica)
fosfopiruvato + CO_2 + ADP (o IDP)	⇌ oxalacetato + ATP (o ITP) (reacción de Utter-Kurahashi)
aspartato + α-cetoglutarato	⇌ oxalacetato + glutamato (transaminasa)
oxalacetato + H_2O	⇌ piruvato + HCO_3^- (descarboxilasa oxalacética)
oxalacetato + acetil-coenzima A	⇌ citrato + coenzima A (enzima condensante)

El nivel estable del oxalacetato depende de la interacción de estas cinco (o quizá más) reacciones, pero se desconoce como se rige tal interacción. Resumiendo, puede afirmarse que la suerte metabólica de la acetil-coenzima A en uno de los puntos de ramificación se decide por la presencia o ausencia de un reactivo determinado. Una vez más se encuentra un substrato ante dos posibilidades: o una reacción con oxalacetato o una reacción con una segunda molécula de acetil-coenzima A.

La disponibilidad de oxalacetato puede influir en que se forme o no acetoacetil-coenzima A. El acetoacetato libre sólo aparece en cantidades apreciables en el hígado. Esto se debe a que el hígado contiene una enzima que hidroliza el acetoacetil-coenzima A (desacilasa) y, a diferencia de otros tejidos, no puede volver a transformar el acetoacetato libre en derivado de coenzima A [24]. Esto ilustra el hecho bien conocido de que la presencia o ausencia de enzimas específicas contribuye al control de los cauces.

Existe otro tipo de mecanismo enzimático, en el que las alternativas se presentan como diferentes direcciones en la misma reacción; un ejemplo es la síntesis o degradación de los ácidos grasos. Es sabido que los ácidos grasos de cadena larga se desdoblan y sintetizan por eliminación o adición de grupos C_2 que reaccionan como acetil-coenzima A. Tanto en el desdoblamiento como en la síntesis hay cuatro reacciones reversibles por cada molécula de acetil-coenzima A [25, 26]. En el desdoblamiento, el primer paso es la deshidrogenación en la posición α-β de la cadena de los ácidos grasos, que da lugar a la formación de un doble enlace α-β, siendo el receptor inmediato de hidrógeno una flavoproteína:

$$\underset{\text{acil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH_2.CH_2.CO.S—CoA} + \text{flavoproteína}$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{α-β deshidroacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH{=}CH.CO.S—CoA} + \text{dihidroflavoproteína}$$

El segundo paso es la hidratación del doble enlace que conduce a un ácido β-hidroxílico:

$$\underset{\text{α-β deshidroacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH{=}CH.CO.S—CoA} \underset{-H_2O}{\overset{+H_2O}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{β-hidroxilacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH(OH).CH_2.CO.S—CoA}$$

Este cambio va seguido por la deshidrogenación del ácido β-hidroxílico a un ácido β-cetónico con DPN como el principal aceptor de hidrógeno:

$$\underset{\text{β-hidroxilacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH(OH).CH_2.CO.S—CoA} + DPN$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{β-cetoacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.CH_2.CO.S—CoA} + DPNH_2$$

El cuarto paso es la «tiolisis» del ácido cetónico por una molécula de coenzima A, produciendo acetil-coenzima A y una acil-coenzima A con dos átomos de carbono menos:

$$\underset{\text{β-cetoacil-coenzima A}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.CH_2.CO.S—CoA.} + CoA—S.H$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{(acil-coenzima A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.S—CoA} + \underset{\text{(acetil-coenzima A)}}{CH_3.CO.S—CoA}$$

En sentido contrario, estas cuatro reacciones conducen a la elongación de los ácidos grasos, y se plantea la cuestión de qué es lo que determina en los sistemas reversibles si tendrá lugar una síntesis o una degradación. El conjunto de las cuatro reacciones que originan un acortamiento o alargamiento de la cadena en los ácidos grasos se puede expresar de la siguiente forma:

$$C_n\text{-acil-CoA} + DPNH_2 + \text{flavoproteína reducida} + \text{acetil-CoA} \rightleftharpoons C_{n+2}\text{-acil-CoA} + DPN + \text{flavoproteína} + CoA$$

Como es reversible, la reacción prosigue de izquierda a derecha cuando los valores de las tres razones

$$\frac{\text{acetil-CoA}}{CoA}, \frac{\text{flavoproteína reducida}}{\text{flavoproteína oxidada}}, \frac{DPNH_2}{DPN}$$

son relativamente elevados; y de derecha a izquierda cuando son bajos. En el organismo intacto, la grasa se sintetiza generalmente cuando hay un exceso de hidratos de carbono, es decir cuando hay piruvato disponible para formar más acetil-coenzima A de la necesaria para producir la energía requerida en el ciclo del ácido tricarboxílico. La reducción del DPN e indirectamente de la flavoproteína tiene lugar simultáneamente a la formación de acetil-coenzima A a partir del piruvato. Este exceso de piruvato aumenta las razones anteriores, mientras que la falta de hidratos de carbono las reduce. Por tanto, se puede comprender, en líneas generales, por qué los ácidos grasos se desdoblan en ausencia de hidratos de carbono y se sintetizan en presencia de los mismos. También se puede comprender por qué la síntesis de las grasas se encuentra alterada en la diabetes y por qué es necesaria la insulina para la síntesis de las grasas [5]. En los organismos superiores la utilización de los hidratos de carbono requiere la presencia de insulina; de aquí que la ausencia de ésta haga decrecer la formación oxidativa del piruvato, lo cual a su vez reduce las existencias de acetil-coenzima A reduciendo el valor de la razón $DPNH_2/DPN$ [28].

Los reguladores de la respiración hasta ahora considerados muestran cómo se puede controlar la elección de un proceso metabólico determinado, entre varias posibilidades. Queda aún por estudiar el mecanismo que regula el índice de consumo de oxígeno o el suministro anaerobio de energía. Este está determinado por la reactividad del sistema de catalizadores que gobierna la oxidación de substratos orgánicos por oxígeno molecular, es decir, por la velocidad a la cual el $DPNH_2$, la flavoproteína reducida y el citocromo reducido transmiten átomos de hidrógeno o electrones al O_2. Se sabe que el transporte de hidrógeno del $DPNH_2$ al O_2, siguiendo el camino de la Fig. 5, está relacionado con la síntesis de ATP a partir de ADP y P. Debido a este enlace, la reacción

$$DPNH_2 + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow DPN + H_2O$$

y sus pasos componentes se desarrollan a velocidad máxima solamente si están presentes el ADP y el

(aunque alguna vez puede tener lugar un proceso abreviado que no requiere fosfatos [26]). En realidad la oxidación del $DPNH_2$ como se ha formulado arriba es una «reacción parcial»; en el esquema siguiente se da una representación más correcta:

$$\left.\begin{array}{l} DPNH_2 + \frac{1}{2}O_2 \\ \\ + 3ADP + 3P \end{array}\right\} \longrightarrow \left\{\begin{array}{l} DPN + H_2O \\ \\ + 3ATP + 3H_2O \end{array}\right.$$

Esta combinación de oxidación y fosforilización (fosforilización oxidante) parece ser imprescindible en condiciones fisiológicas normales; por lo tanto, en este sistema el fosfato desempeña un papel similar al que tiene en la reacción antes mencionada de la triosafosfato-deshidrogenasa. Ambas reacciones dependen de la cantidad de ADP y P, y están por tanto controladas por la velocidad con que el ATP se fracciona en adenosina y fosfato, es decir, por la cantidad de energía gastada. Como el índice de interacción entre los substratos y el DPN depende de la velocidad a la cual se regenera el DPN por oxidación del $DPNH_2$ la fosforilización oxidativa también controla la velocidad de degradación del substrato.

Estos conceptos son todavía provisionales, pues aunque se apoyan en un acopio considerable de observaciones no pueden considerarse como establecidos en todo detalle. Lo que es un hecho comprobado es la acción retardadora que tienen el fosfato y los aceptores de fosfato en ciertas condiciones bien definidas. Observaciones anteriores sobre el control de la velocidad [29, 30, 31] que ejercen éstos, muestran que en las mitocondrias hepáticas la velocidad de oxidación de una variedad de substratos se acelera al añadir fosfato inorgánico y ADP u otro aceptor de fosfato [3, 4, 32–34]. En algunas condiciones experimentales, el factor que limita la velocidad es el fosfato inorgánico, en otras es el aceptor de fosfato [35]. Es probable que *in vivo* ambas tomen parte.

LOS ESTADIOS REGULADORES, PUNTOS DE MENOR RESISTENCIA DEL METABOLISMO

Cuando algunas sustancias químicas específicas, tales como hormonas, drogas y venenos, modifican las velocidades metabólicas, es probable que el punto de ataque sea uno de los reguladores [36]. El efecto primario de dichos agentes, en la mayoría de los casos, es la inhibición o activación de una enzima. Como la actividad de los no-reguladores no es un factor que limita la velocidad, una inactivación parcial o la activación de un no-regulador no cambiaría las velocidades metabólicas, aunque sí podría modificar el nivel de estado estable de las concentraciones de productos intermedios.

Los hallazgos experimentales apoyan la teoría de que las reacciones reguladoras son corrientemente aquellas etapas del metabolismo que se dejan influenciar más fácilmente por los inhibidores y las hormonas. Los inhibidores específicos de la glucolisis perturban la reacción de la hexoquinasa (L-aldehido glicérico) o el sistema de triosafosfato-deshidrogenasa (iodoacetato). Los inhibidores específicos de los procesos respiratorios interfieren en el sistema de transporte de electrones (cianuro, azida o sulfuro) o en el paso que inicia el ataque contra el substrato orgánico, es decir, la reacción de las deshidrogenasas (*v.g.*: malonato). Otros inhibidores alteran el equilibrio de los reactivos en los puntos de ramificación: por ejemplo, los agentes cetónicos que reducen las existencias de oxalacetato en el hígado. En cuanto a las hormonas, se considera que la insulina controla la velocidad de la reacción de la hexoquinasa, posiblemente de una manera indirecta controlando la entrada de azúcar en las células. La acción glucogenolítica de la adrenalina se debe a una aceleración de la fosforilasa, la enzima que inicia la degradación del glucógeno [37]. En todos estos ejemplos, el punto de ataque es una reacción reguladora.

COMENTARIOS GENERALES SOBRE LA DISPOSICION DE LOS MECANISMOS DE CONTROL «PRIMITIVOS»

Si el control hormonal de las actividades biológicas opera generalmente a través de la acción que ejercen las hormonas sobre la actividad de una enzima, los mecanismos de control no-hormonales estudiados en este artículo son, en principio, distintos. Pertenecen generalmente al tipo de sistemas que los ingenieros denominan sistemas *feedback*. El *feedback* es un sistema en el cual el proceso controlado, conforme va desarrollándose, origina condiciones adversas a su propio progreso, dando lugar por tanto a una reducción de la velocidad. Esta disminución crea de nuevo condiciones más favorables y se produce una aceleración del proceso. Los termoreguladores figuran entre los ejemplos más simples de un sistema *feedback*. El *feedback* también se puede describir como un sistema en el cual hay una relación alternante entre consumo y rendimiento.

Los mecanismos que controlan las velocidades metabólicas a menudo llevan en sí sistemas de este tipo. Los fosfatos inorgánicos y el adenosíndifosfato se pueden considerar como las substancias

claves que actúan sobre los controles que regulan el suministro de energía. Su presencia estimula la velocidad de degradación, tanto aerobia como anaerobia de los alimentos. Cuando se ha utilizado ya la energía, la concentración de estas dos substancias tiende a aumentar; a su vez, son eliminadas cuando aumenta la respiración o la fermentación; por lo tanto llega un momento en que disminuye la velocidad de las reacciones de aportación de energía.

Los mecanismos competitivos, en los cuales el nucleótido de difosfopiridina es una de las substancias esenciales, también pueden considerarse como sistemas *feedback*. Cuando dos substratos luchan por un catalizador intermediario común, cada uno origina con su presencia condiciones desfavorables para la reacción del substrato rival. Conforme desaparece uno de los substratos, el otro automáticamente queda a disposición del catalizador, asegurando así que la actividad catalítica permanezca más o menos constante.

Las reacciones de aportación de energía pueden servir como ejemplo para mostrar la acción respectiva del control hormonal y del control por *feedback* en los animales superiores. Mientras las hormonas, principalmente la del tiroides, representan un papel importante en el control del metabolismo basal, la aportación de energía necesaria para la actividad funcional—*v.g.*: para la contracción de los músculos o la secreción de las glándulas —, se encuentra controlada por mecanismos de autorregulación por *feedback*.

Se pueden encontrar mecanismos autorreguladores por *feedback* en otros muchos niveles de la organización biológica. Un ejemplo es el efecto, hace tiempo conocido, que tiene la presión del anhídrido carbónico alveolar sobre la respiración [38]. Otros mecanismos semejantes actuan sobre el latir del corazón [39] y en especial sobre el funcionamiento del sistema nervioso. En muchos casos se puede dar una explicación puramente mecánica basada en los principios de la autorregulación por *feedback* del funcionamiento teleológico de los sistemas biológicos [40].

REFERENCIAS

[1] JOHNSON, M. J. *Science*, **94**, 200, 1941.
[2] LYNEN, F. *Liebigs Ann.*, **546**, 120, 1941.
[3] LARDY, H. A. *Proc. 3rd Int. Congr. Biochem., Brussels*, **287**, 1955.
[4] CHANCE, B. *Harvey Lect.*, **49**, 145, 1955.
[5] STADIE, W. C. *Physiol. Rev.*, **34**, 52, 1954.
[6] KREBS, H. A. *Chemical Pathways of Metabolism*, D. M. Greenberg (Compilador). Academic Press, Nueva York. **1**, 109, 1954.
[7] *Idem. Advanc. Enzymol.*, **3**, 191, 1943.
[8] LEPAGE, G. A. *Cancer Res.*, **10**, 77, 1950.
[9] LYNEN, F. y KOENIGSBERGER, R. *Liebigs Ann.*, **573**, 60, 1951.
[10] BÜCHER, T. *Biochim. Biophys. Acta*, **1**, 292, 1947.
[11] GERLACH, E., WEBER, E. y DÖRING, H. J. *Arch. exp. Path. Pharm.*, **226**, 9, 1955.
GERLACH, E. y WEBER, E. *Ibid.*, **226**, 496, 1955.
[12] GLOCK, G. E. y MCLEAN, P. *Biochem. J.*, **61**, 381, 1955.
[13] WEIL-MALHERBE, H. y BONE, A. D. *Ibid.*, **49**, 339, 1951.
[14] CRANE, R. K. y SOLS, A. *J. biol. Chem.*, **210**, 597, 1954.
[15] LIPMANN, F. *Biochem. Z.*, **265**, 133, 1933; **268**, 205, 1933.
[16] BURK, D. *Cold Spring Harb. Symp. quant. Biol.*, **7**, 420, 1939.
[17] MEYERHOF, O. y FIALA, S. *Biochim. Biophys. Acta*, **6**, 1, 1950.
[18] KORANYI, A. y SZENT GYÖRGYI, A. *Dtsch. Med. Wschr.*, **63**, 1029, 1937.
[19] LAWRENCE, R. D. *Lancet*, II, **233**, 286, 1937.
[20] DEUEL, H. R., MURRAY, S. y HALLMAN, L. F. *Proc. Soc. exp. Biol. N.Y.*, **37**, 413, 1937.
TERRELL, A. W. *Ibid.*, **39**, 300, 1938.
[21] BEATTY, C. H. y WEST, E. S. *J. biol. Chem.*, **190**, 603, 1951.
[22] LEHNINGER, A. L. *Ibid.*, **164**, 291, 1946.
[23] RECKNAGEL, R. O. y POTTER, V. R. *Ibid.*, **191**, 263, 1951.
[24] MAHLER, H. R. *Fed. Proc.*, **12**, 694, 1953.
MII, S. y GREEN, D. E. *Biochim. Biophys. Acta*, **13**, 425, 1954.
[25] LYNEN, F. *Harvey Lect.*, **48**, 201, 1954.
[26] GREEN, D. E. *Biol. Rev.*, **29**, 330, 1954.
[27] TERNER, C. *Biochem. J.*, **64**, 532, 1956.
HELE, P. y POPJAK, G. *Ibid.*, **60**, XXXII, 1955.
[28] HOLZER, H. *Ergebn. med. Grundlagenforsch.*, **1**, 189, 1956.
[29] LENNERSTRAND, A. *Biochem. Z.*, **289**, 104, 1936.
[30] BELITZER, V. A. *Enzymologia*, **6**, 1, 1939.
[31] LARDY, H. A. y WELLMAN, H. *J. biol. Chem.*, **195**, 215, 1952.
[32] COOPER, C., DEVLIN, T. M. y LEHNINGER, A. L. *Biochim. Biophys. Acta*, **18**, 159, 1955.
[33] RABINOVITZ, M., STULBERG, M. P. y BOYER, P. D. *Science*, **114**, 641, 1951.
[34] TERNER, C. *Biochem. J.*, **64**, 523, 1956.
[35] CHANCE, B. y WILLIAMS, G. R. *Advanc. Enzymol.*, **17**, 65, 1956.
[36] KREBS, H. A. The effects of extraneous agents on cell metabolism. En *Ionizing Radiation and Cell Metabolism*, Ciba Foundation Symposium, J. and A. Churchill, Londres. 92, 1956.
[37] CORI, C. F. *Currents in Biochemical Research*, D. E. Green (Compilador). Interscience Publishers Inc., Nueva York. 198, 1956.
[38] HALDANE, J. S. y PRIESTLEY, J. G. *J. Physiol.*, **32**, 225, 1905.
[39] WAGNER, R. *Probleme und Beispiele biologischer Regelung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954.
[40] ROSENBLEUTH, A., WIENER, N. y BIGELOW, J. *Phil. Sci.*, **10**, 18, 1943.

Macquer, primer lexicógrafo químico

DOUGLAS McKIE

Macquer, al publicar sus *Elémens de chymie théorique* (1749) y *Elémens de chymie-pratique* (1751), se establece como el principal autor químico en Francia, sucesor de Nicolas Lemery. Sin embargo, su obra más notable *Dictionnaire de chymie*—que es casi una enciclopedia, aparece quince años más tarde. Esta obra tuvo muchas ediciones, tanto en francés como en traducciones, y ejerció una poderosa influencia sobre el desarrollo de la química en una época en la que dicha ciencia sufrió profundos cambios.

Pierre-Joseph Macquer, uno de los distinguidos químicos que produjo Francia en el siglo XVIII, nació en París el 9 de octubre de 1718, primogénito de Joseph Macquer y Marie-Anne Caillet; su único hermano, Philippe, nació el 15 de febrero de 1720. Por línea paterna parece descender de una familia escocesa noble que se refugió en Francia después de haber perdido todas sus posesiones como consecuencia de su fidelidad a la causa católica y a los Estuardo. Sin embargo, el nombre Macquer no parece ser escocés, ni deformación de otro de tal origen; tampoco parece derivarse de Ker, ya que las familias nobles de ese apellido no fueron partidarias de los Estuardo. Nosotros hemos sugerido [1] que se trata de una corrupción de Maguire, nombre de la familia de la desdichada casa de Enniskillen. Muchas de las inscripciones jacobitas en los archivos parroquiales de Saint-Germain-en-Laye, donde James II y su corte hallaron refugio, parecen coincidir con tal sugerencia; en ese caso, sería más probable que los antepasados de Macquer fueran irlandeses y no escoceses.

Algunos biógrafos dicen que los padres de Macquer se esforzaron porque sus hijos tuvieran una profesión liberal. Probablemente tal interés se debía a los recuerdos que el padre conservaba de sus cincuenta años de pobreza entre sus camaradas exilados. Philippe, el más joven, eligió el foro, pero debido a su poca salud se dedicó finalmente a la historia y la literatura, estudios en los que llegó a brillar por la exactitud de sus conocimientos y la claridad de su estilo. Pierre-Joseph, por su parte, eligió la medicina; no, al parecer, por amor a ella, sino porque, de todas las ocupaciones que se le ofrecían, era la que más concordaba con el interés científico que comenzaba sentir. En 1742, cuando contaba 24 años, se doctoró en medicina en París. Sin embargo, se sentía atraído, sobre todo, por la química, y tres años más tarde fue nombrado *adjoint-chimiste* en la *Académie des Sciences*, sucediendo a Paul-Jacques Malouin, quien había ascendido a la categoría de *associé*. Macquer recibió tal nombramiento en 1766, y el de *pensionnaire* en 1772. En 1773 fue subdirector de la *Académie*, y director en 1774.

FIGURA 1 – *Pierre-Joseph Macquer* (1718–84), *catedrático de química del* Jardin du Roi, *de París, y primer lexicógrafo químico. De un grabado de Benoist basado en un óleo de Garrand. (Por cortesía de la* Bibliothèque Nationale, *París.)*

Macquer estudió química en el *Jardin du Roi* bajo Guillaume-François Rouelle (1703–70), sobre quien se ha publicado ya un artículo en esta revista. Rouelle era, para sus conciudadanos, el fundador de la química francesa, en la que había introducido la teoría flogística, la cual, no obstante todo lo que hayan afirmado los que no han comprendido plenamente su importancia dentro del desarrollo de la química, tuvo el gran mérito de liberar esa ciencia de las garras del alquimista y del apotecario. La química de Rouelle no

estaba enteramente libre de ciertas características que más bien pertenecían al arte de botica; fue Macquer, discípulo de Rouelle, a quien en realidad correspondió la tarea de purificar tales estudios y convertirlos en una ciencia por derecho propio. A tan importante y significativo cambio Macquer contribuyó con sus libros y su enseñanza. Pero antes de ocuparnos de tales actividades conviene que dediquemos algún espacio a sus primeras investigaciones.

FIGURA 2 – *Grabado, probablemente de Benoît Audran* (ob. 1772), *basado en un óleo de Teniers, representando a un alquimista en su laboratorio, que aparece en la primera página del texto de la segunda edición* (quarto) *del* Dictionnaire de Chimie *de Macquer* (*París*, 1778).

Su primera memoria publicada en el volumen anual de *Mémoires de l'Académie*, trata de la solubilidad de los aceites en espíritu de vino (1745). Siguen luego dos sobre las sales de arsénico (1746 y 1748) y otra sobre la cal y el yeso (1747). Un trabajo sobre el azul de Prusia demuestra que esta substancia era una combinación de hierro con algo que los álcalis extraen de las substancias animales usadas en su preparación. Las publicaciones de este tipo continuaron durante más de 30 años: sobre colorantes, tierras fusibles, platino, solubilidad de las sales en espíritu de vino, aguas minerales y temas semejantes. Entretanto, Macquer había comenzado la enseñanza de la química, materia que ocupaba toda su atención.

En 1757, en colaboración con Antoine Baumé (1728–1804), Macquer comenzó a dictar cursos de química en su laboratorio en la rue Saint-Denis. Baumé era farmaceútico y demostrador de química en la Escuela de Farmacia. Era también autor de numerosas memorias y libros, entre los cuales destaca su *Chymie expérimentale et raisonnée* (París, 3 vols., 1773), en el cual recoge los resultados de 16 de esos cursos anuales en los que colaboraba con Macquer y en los que realizó más de 2000 experimentos en cada uno de ellos. El mismo Macquer obtuvo de Buffon en 1770 la reversión de la cátedra de química de Bourdelin en el *Jardin du Roi*, juró el cargo en 1771 y ocupó la cátedra a la muerte de Bourdelin en 1777.

Los *Elémens de chymie théorique* se publicaron en 1749 en París, en un volumen en *octavo* de unas 350 páginas, con tres planchas de aparatos químicos y una reproducción de la Tabla de Afinidades Químicas de Geoffroy. En un momento en que el más famoso de todos los libros de texto de química, el *Cours de chymie* de Nicolas Lemery (1645–1715), aparecido por vez primera en París en 1675, todavía corría en una de sus numerosas ediciones revisadas, no sólo por París sino por toda Europa (pues fue traducido al alemán, español, inglés, italiano y latín), y cuando todavía estaba por aparecer su más famosa edición (el gran *quarto* de casi 1000 páginas, París 1756), el modesto librito de Macquer debe de haber parecido bien poca cosa. Pero trataba de los principios de la química y de las diferentes clases de substancias y sus propiedades químicas, sin hacer mención a sus propiedades farmacológicas, a pesar de lo que hubiera podido esperarse de un médico. Al parecer, las enseñanzas de Rouelle habían producido en este caso el más importante fruto, y el éxito de este nuevo escritor químico, que presentaba la materia de manera tan original, considerándola como una rama independiente de la ciencia natural, fue inmediato.

Dos años más tarde apareció otra obra de Macquer, *Elémens de chymie-pratique* (París, 1751), en dos volúmenes en *octavo* con un total de más de mil páginas. En 1753 siguió una nueva edición de la obra anterior. Luego, en 1756, otra edición de ambas obras, formando un total de tres volúmenes, con unas 1500 páginas. Macquer había alcanzado ya la posición del más importante autor químico francés y su reputación crecía sin cesar. En 1758 apareció la primera versión inglesa con el título de *Elements of the Theory and Practice of Chemistry*, traducida por Andrew Reid, en dos volúmenes en *octavo*, Londres; en 1764 se publicó una nueva edición dedicada al Earl of Bute. Una

tercera, en tres volúmenes, se imprimió en Edimburgo en 1768 e iba dedicada a «LOS ESTUDIANTES de la UNIVERSIDAD de EDIMBURGO y a todos los AMANTES de la QUIMICA» y es una de las ediciones más atrayentes de este libro. Otra edición inglesa, posiblemente la cuarta, parece haberse publicado en Londres en 1775. La quinta, en un volumen, salió en Edimburgo en 1777, de la que poseemos un ejemplar cuyas dos hojas en blanco llevan notas que parecen ser de Joseph Black, a quien pudo haber pertenecido. En efecto, la aparición de las ediciones de 1768 y de 1777 pueden quizás estar relacionadas con la calurosa recomendación que del libro de Macquer hizo Black a los estudiantes que seguían su curso de química en la Universidad de Edimburgo. Black consideraba que éste era el primero entre los «libros muy necesarios», según dicen las notas de un estudiante tomadas durante las disertaciones de aquél, añadiendo que «el libro contiene un estudio claro y preciso de la mayoría de los datos que se refieren a la química». Nosotros hemos dicho en otra parte [3] que Black comenzó a recomendar este libro a sus estudiantes ya en el curso universitario de 1767–8. Los *Elémens* se tradujeron asimismo al alemán, holandés y ruso.

Sin embargo, su *Dictionnaire de chymie* (París, 1766, 2 vols., *octavo*), el primero de su tipo, es lo que asegura la fama de Macquer. Aunque ya nuestro autor era bien conocido, la primera edición del diccionario se publicó anónimamente. Era una obra considerable, de unas 1300 páginas; más bien que un diccionario era un compacto tratado de la ciencia química que presentaba todos sus detalles en unos 500 artículos ordenados alfabéticamente. En 1769 salió una reimpresión de esta primera edición, aunque mientras tanto se había publicado una edición suiza en tres volúmenes (1767). Una edición inglesa en dos volúmenes apareció en Londres en 1771, obra de James Keir (1735–1820); en 1777 se publicó una segunda edición inglesa con un apéndice que consistía en un tratado sobre las diversas clases de flúidos y gases permanentemente elásticos. Más tarde aparecieron ediciones en alemán, danés e italiano. Otra edición suiza se publicó en Neuchâtel, en cinco volúmenes (1789), el último de los cuales era un suplemento que recogía los más recientes progresos.

En 1778 se publicó en París una segunda edición, aunque ya en 1777 había salido otra que también se describía segunda, en tres volúmenes. La edición de 1778 apareció en dos formatos distintos: uno en cuatro volúmenes en *octavo*, y el otro en dos en *quarto*. Esta salió de las prensas de la *Imprimerie de Monsieur*, esto es, la imprenta que protegía el Conde de Provence, hermano segundo del rey. Es una de las obras de química más bellamente impresas, y hoy se la disputan los coleccionistas. En la primera página del texto, la parte superior lleva como ilustración el grabado de Teniers reproducido en la Fig. 2. Sus dos volúmenes contienen casi 1600 páginas, con un índice a doble columna que ocupa 200 páginas; este índice es necesario puesto que aunque la obra lleva como título «Diccionario», muchos de sus artículos son de carácter enciclopédico.

Comparando las dos ediciones francesas de 1766 y 1778 se observa que en la última se han ampliado muchos artículos de la primera y se han añadido otros nuevos, cosa necesaria vistos los notables progresos que en la química habían ocurrido entre ambas fechas. Para apreciar la importancia de tales cambios no tenemos más que señalar que en 1766, año de la primera impresión, Cavendish había aislado el «aire inflamable» (hidrógeno), y que el descubrimiento de los gases abría todo el nuevo campo de la química neumática, que Priestley iba a explorar. La segunda edición, por consiguiente, tenía unos cincuenta artículos nuevos, además, como ya hemos señalado, de copiosa información adicional en el texto de los ya aparecidos en la primera.

En una obra de este carácter, el lector moderno se interesa, como es natural, sobre todo en ciertos artículos. Uno de ellos será, con toda probabilidad el que estudia los elementos químicos. En 1766, Macquer nos ofrece ya un enfoque moderno: «Esos cuerpos, llamados por los químicos *elementos*, son tan simples que no se conoce método alguno para alterarlos o descomponerlos; también intervienen como principios o partes constituyentes en la combinación de otros cuerpos que se denominan en consecuencia, compuestos.» Sin embargo, en la frase siguiente hallamos que Macquer es todavía fiel a la antigua doctrina de los cuatro elementos: «Los cuerpos en lo que se ha observado tal simplicidad son el fuego, el aire, el agua y la tierra más pura; en efecto, los análisis más completos y exactos no han producido nunca, en último término, sino una o más de esas cuatro substancias, según la naturaleza de los cuerpos descompuestos. Esas substancias, aunque las creemos simples, pueden quizás no serlo y resultar de la combinación de otras aún más simples: pero como la experiencia no parece enseñarnos nada a este respecto, sin mayor inconveniente podemos y aún debemos considerar que en la química el

fuego, el aire, el agua y la tierra son cuerpos simples, dado que actúan como tales en todas las operaciones químicas.» La segunda edición repite estas palabras; en efecto, Macquer, a falta de conocimientos más exactos continuó aceptando la teoría de los cuatro elementos, aunque hace uso de la definición de elementos químicos de Boyle.

El breve artículo sobre la alquimia es interesante y vamos a citarlo entero: «Este término ha sido usado por sus pretendidos adeptos y por los buscadores de la piedra filosofal para distinguir esa especie de química cuyo conocimiento se vanagloriaban estaba reservado para ellos sólos. Los adeptos consideraban la química como una vulgar ciencia en la que apenas caben los principios fundamentales de la misteriosa ciencia de la alquimia. Pero hasta ahora no han producido nada que, a juicio de las personas sensatas, pueda ofrecer la menor base para tal pretensión. Los auténticos químicos consideran la alquimia como una ciencia imaginaria, y a los que a ella se dedican como gentes que, por falta de mejor instrucción, dejan una realidad para correr detrás de una sombra.» El lector puede entonces buscar el artículo «Adepto» y hallará que «es el nombre que se dan los alquimistas que pretenden haber descubierto el secreto de la piedra filosofal. Véase *Piedra filosofal.*» Y allí encontramos que es el «término con el que los alquimistas designan la preparación mediante la cual pueden transmutarse los metales, fabricar oro y plata y realizar todas las maravillas del (como ellos dicen) *gran trabajo.*» La opinión que Macquer tenía de los alquimistas queda clara en esas palabras.

Si consultamos los artículos que se refieren a la controversia, tan viva en su tiempo, entre la teoría flogística y la nueva química que comenzaba a desarrollar Lavoisier, hallamos que Macquer defiende una posición intermedia. No estaba dispuesto a abandonar las doctrinas vigentes (especialmente de que en la combustión y la calcinación el flogisto se desprendía de los cuerpos en combustión y de los metales calcinados), pero al mismo tiempo no podía menos de aceptar las pruebas experimentales aducidas por Lavoisier de que el aumento de peso de los metales al calcinarse se debía a su combinación con una parte del aire. Macquer, por consiguiente, continuó afirmando que el flogisto, que él consideraba como la substancia de la luz, se liberaba durante la combustión y la calcinación y que el peso así perdido se compensaba mediante la concurrente combinación con el aire. Esto significaba una considerable modificación de la teoría flogística, según se aceptaba generalmente en la época de Macquer, y exigió la agudísima crítica experimental de Lavoisier para refutar tal compromiso entre ambas doctrinas.

Dado que las enseñanzas y escritos de Macquer se caracterizan por su claridad lógica y por su oposición a toda especulación que no se basase en los hechos, es realmente una lástima que compilase su gran diccionario precisamente en los años en que la nueva química surgía de las cenizas de la antigua. Quien estudie cuidadosamente sus escritos reconocerá que si no hubiera muerto en 1784, antes de que quedara completa la revolución en la química, habría aceptado sin resistencia todas las nuevas doctrinas. Su diccionario de química, el primero de tal clase, estableció un modelo para todos los que le han seguido después. El *Dictionary of Chemistry* de Nicholson (Londres, 2 vols., 1795), primero compilado en la Gran Bretaña, se basaba en Macquer; los que luego han aparecido en todos los países han seguido también idéntico modelo.

A Macquer le interesaba grandemente la aplicación de la química, y sus conocimientos en tal materia fueron la causa de su nombramiento como Director de la Fábrica Real de Porcelana de Sèvres en 1766, como sucesor de Hellot, a quien también sucedió en la dirección de las industrias colorantes. Colaboró con Lavoisier y otros en la investigación oficial sobre los métodos de mejora y aumento de la producción nacional de salitre para la fabricación de pólvora. También trabajó con Lavoisier cuando éste estudiaba por primera vez la combustión del diamante, y ya antes había descubierto la ligera llama producida durante dicho fenómeno, así como el hecho de que al arder una llama de «aire inflamable» contra una superficie fría se producen unas gotas que «son al parecer agua.»

Los ultimos días de Macquer fueron entenebrecidos por una enfermedad, muriendo repentinamente el 15 de febrero de 1784 en París.

REFERENCIAS

[1] McKie, D. *Nature, Lond.*, **163**, 627, 1949.
[2] *Idem. Endeavour*, **12**, 130, 1953.
[3] *Idem. Ann. Sci.*, **1**, 102, 1936.

Los espermatozoos de los mamíferos

M. W. H. BISHOP y C. R. AUSTIN

Muchas ramas de la investigación científica han contribuido a nuestro considerable conocimiento actual de los espermatozoos y de sus funciones. Se trata de una célula altamente especializada, que no puede crecer ni dividirse; se compone esencialmente de un núcleo condensado, provisto de medios de locomoción y penetración dentro del huevo. No representa una función esencial en la fisiología del animal que lo produce y tiene como único fin la formación de nuevos animales del mismo tipo.

Hace unos 280 años, Juan Hamm de Arnhem observó espermatozoos en el semen humano y comunicó su descubrimiento al eminente microscopista del siglo XVII Antón van Leeuwenhoek. Durante los años siguientes, éste y otros observaron la presencia de espermatozoos en el semen de muchos animales, pero su naturaleza y función fueron objeto de enconadas disputas durante casi 200 años. Variadas fueron las conjeturas: unos los conceptuaban como estructuras provenientes de putrefacción o acción química; otros los consideraban como parásitos o infusorios adventicios; como cuerpos especializados para despertar el deseo sexual en el macho; o en fin, como semilla, de la cual iba a crecer el embrión futuro. Leeuwenhoek compartió esta última opinión y creyó que los espermatozoos se transformaban en embriones después de nidificar dentro del huevo.

Los microscopios disponibles entonces eran muy imperfectos de acuerdo a nuestras normas, y, en consecuencia, las imágenes primitivas de los espermatozoos eran a menudo raras y deficientes (Fig. 6). Algunos observadores afirmaron haber visto conductos alimenticios (Fig. 1) y otros órganos en los espermatozoos, y aun describieron y copiaron embriones diminutos completos u homúnculos (Fig. 2). En 1890, el microscopio alcanzó un grado de perfección tal que escasamente puede mejorarse hoy en día, emprendiéndose investigaciones concienzudas sobre la morfología de los espermatozoos, sobre todo por Ballowitz y Retzius (Figs. 3–5). En años recientes, el conocimiento de la naturaleza y funciones de los espermatozoos ha crecido rápidamente gracias al desarrollo de métodos nuevos de microscopía, de química histológica y, en general, de biología experimental.

MORFOLOGIA Y FISIOLOGIA DEL ESPERMATOZOO

Es función del espermatozoo iniciar el desarrollo del huevo y suministrar el material hereditario paterno y, tal vez, otros componentes importantes o esenciales para el nuevo embrión. Con objeto de conseguir esto, el espermatozoo debe primeramente llegar hasta el huevo y penetrar dentro de él. Para una función tan compleja no es de extrañar que el espermatozoo sea una célula compleja y altamente especializada. Tiene su origen en los canalículos seminíferos a partir de un espermatogonio o célula madre del espermatozoo, como resultado de un proceso de división y diferenciación celular.

El espermatozoo maduro es una célula pequeña, muy condensada, compuesta de dos partes principales: la cabeza y la cola. Su índice de refracción hace suponer que tan sólo un 50% del mismo es agua [3] (el agua constituye de un 80 a 90% de la mayoría de las células). El volumen del espermatozoo de toro es solamente como una veinte milésima parte del de un huevo, del que es el equivalente genético. A diferencia del huevo, los espermatozoos se producen en número prodigioso. Una eyaculación de semen de toro contiene unos cinco mil millones de espermatozoos, que son suficientes para fecundar por lo menos 500 vacas.

El núcleo. El principal componente de la cabeza es el núcleo (Figs. 51 y 52). Este se compone de cromatina densamente compacta que es en extremo difícil desintegrar por medios físicos; da las reacciones colorantes características del ácido desoxirribonucleico (ADN) y absorve fuertemente la radiación ultravioleta (Figs. 36–41). En los espermatozoos de toro, cerca de un 43% de la cromatina es ADN [16]. El 57% restante es proteína, la mitad de la cual se compone de arginina aminoácida. El ADN presente en el núcleo del espermatozoo es la mitad del de un núcleo somático normal de la especie, y se cree en la actualidad que el esquema o patrón genético que lleva el espermatozoo está de alguna manera almacenado en la estructura de las moléculas de ADN. Parece

que la cromatina está aglomerada más densamente en la parte posterior del núcleo, pero por otra parte es homogénea en distribución: aun la microscopía electrónica de secciones muy delgadas (0,02 μ) de núcleo de espermatozoo no ha podido revelar hasta el presente la presencia de cromosomas.

Las propiedades hereditarias del núcleo del espermatozoo en los mamíferos incluyen hasta la determinación del sexo del embrión. Los cromosomas X y los cromosomas Y que existen juntos en la célula somática de los mamíferos macho se separan durante el desarrollo del espermatozoo, formándose dos tipos de espermatozoos: los que llevan el cromosoma X inician el desarrollo de los embriones hembra, y los que llevan el cromosoma Y inician el de los embriones macho. Se han realizado esfuerzos para identificar los espermatozoos X e Y midiendo el tamaño nuclear y para separarlos por medios físicos y químicos, pero es dudoso que se haya llegado a conseguir algún resultado. Se ha intentado también destruir la cromatina de los espermatozoos con rayos X o tratamiento químico, dejando el espermatozoo intacto. Tales espermatozoos son capaces de iniciar el desarrollo de embriones aun cuando no transmitan ningún material genético activo; los embriones producidos de este modo podrán ser hembras. Aunque el método es eficaz en ciertos anfibios no ha dado resultado hasta el presente en los mamíferos.

En los espermatozoos de algunos roedores, un proceso sutil, la «varilla», se extiende desde el núcleo hasta el ápice de la cabeza, que tiene forma de gancho (Figs. 48 y 52). La varilla, que no contiene ADN, parece una extensión endurecida de la membrana nuclear [10]. Puede funcionar como una estructura de soporte para el acrosoma (*Vid. infra*), pero no se encuentra en los espermatozoos de los roedores microtínicos [13], como la rata de campo, que poseen también cabeza ganchuda; su función no es muy clara.

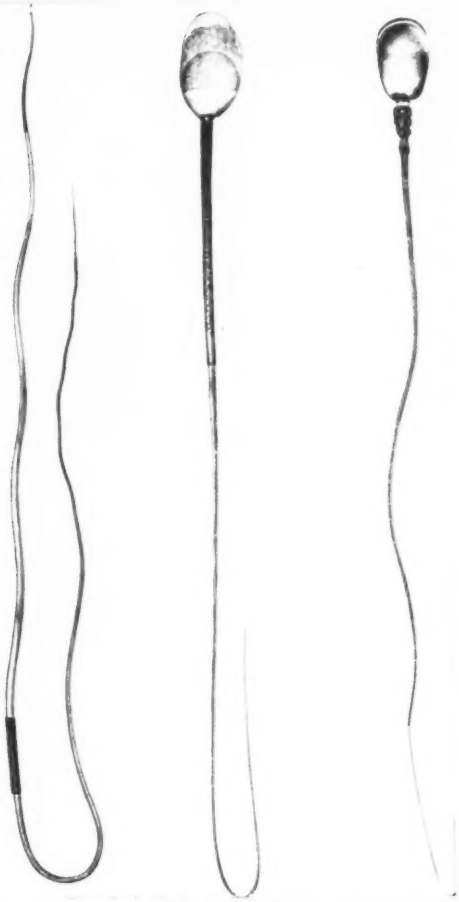
El acrosoma. Las etapas finales de la espermatogénesis ocasionan la diferenciación de la espermátide en el espermatozoo. Durante este proceso incumbe al aparato de Golgi la formación de una estructura parecida a una gorra, el acrosoma, sobre la superficie anterior del núcleo. El acrosoma en los espermatozoos maduros varía considerablemente de tamaño y forma en las diferentes especies, pero su aparición universal en la superficie anterior de la célula ha hecho suponer durante mucho tiempo que desempeñaba un papel vital en la penetración de las barreras que circundan el huevo. Muchos de los primeros investigadores atribuyeron al acrosoma la función de penetrar mecánicamente en las membranas del huevo; las cabezas en forma de hoz o gancho de los espermatozoos de algunos roedores se prestan muy bien a esta interpretación. Sin embargo, la hipótesis de simple función mecánica se ha desechado hace mucho tiempo, y la función del acrosoma se considera hoy que es proporcionar una superficie capaz de adherirse al huevo y producir enzimas que permitan al espermatozoo penetrar en el huevo. La prueba de estos procesos es incompleta todavía en los mamíferos, pero se han demostrado funciones análogas del acrosoma en los espermatozoos de ciertos invertebrados [11]. Una indicación de que el acrosoma de mamífero desempeña un papel vital en la concepción es que los espermatozoos de toro con una deformidad hereditaria en su estructura (Fig. 55), pero normal en cuanto al resto, son por completo estériles [14].

Pruebas de variada procedencia, pero particularmente por estudios de espermatogénesis, sugieren que el acrosoma es una doble estructura compuesta de dos casquetes, interior y exterior (Figs. 51, 52 y 54), los cuales difieren ligeramente al teñido, pero ambos dan una reacción positiva con la prueba de Schiff (PAS) (Fig. 49), y por esta razón se presume que contiene polisacárido, posiblemente en la forma de mucopolisacárido. El acrosoma reacciona también característicamente con el colorante de Giemsa, presentando con frecuencia un segmento posterior de color más claro (Figs. 42–45). Este se llama segmento ecuatorial y se cree que representa la región en que el casquete exterior de acrosoma traslapa sobre el interior [15]. El borde posterior del casquete externo también corresponde al borde exterior de la envoltura post-nuclear o vaina citoplásmica que cubre la parte posterior de la superficie nuclear y que, en algunas especies por lo menos, presenta propiedades argentofílicas (Figs. 46 y 47).

Recientes progresos en la microscopía fluorescente han facilitado en grado sumo el estudio del acrosoma en espermatozoos vivos [7]. La técnica es sencilla: se tratan los espermatozoos con una concentración baja de anaranjado de acridina y se examinan bajo radiación ultravioleta. En tales condiciones los acrosomas de espermatozoos recientes y vivos aparecen como imágenes fluorescentes de un rojo brillante allí donde se extienden más allá del núcleo y como imágenes amarillo-verdosas donde traslapan sobre el núcleo (Figs. 7–14 y 16). Los núcleos, donde no están cubiertos por el acrosoma, aparecen de color verde brillante. El método

FIGURA 1 (*Arriba, izquierda*) – *Dibujo* (*retocado*) *de un espermatozoo humano, publicado por Pouchet. La cabeza se creyó que contenía un conducto alimenticio simple.* (*Tomado de* Théorie positive de l'ovulation spontanée et de la fécondation des mammifères et de l'espèce humaine, *París*, 1847.)

FIGURA 2 (*Arriba, derecha*) – *Espermatozoo humano según lo concebía Hartsoeker, mostrando un homúnculo sentado en la cabeza. La cola del espermatozoo se creyó que contenía el cordón umbilical.* (*Tomado del* Essay de dioptrique, *París*, 1694.)



FIGURAS 3–5 – *Dibujos de Retzius* (1906 *y* 1909) *de espermatozoos del oso hormiguero australiano, del topo común europeo y del delfín, respectivamente.* (Biol. Untersuch., *N.F.*, **13** *y* **14**.)

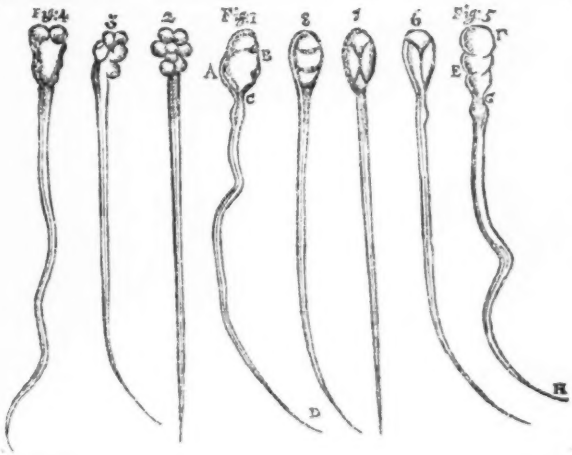


FIGURA 6 – *Espermatozoos de conejo* (*Nos.* 1–4) *y de perro* (*Nos.* 5–8), *según el dibujo de Leeuwenhoek*, (Phil. Trans., **12**, 1040, 1679.)

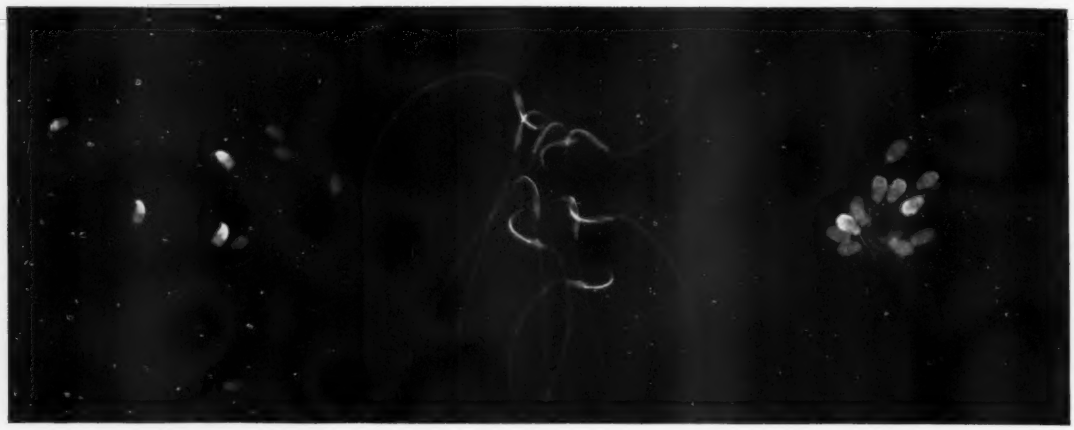


FIGURA 7 – *Rata del algodón.* FIGURA 8 – *Rata albina.* FIGURA 9 – *Conejo.*

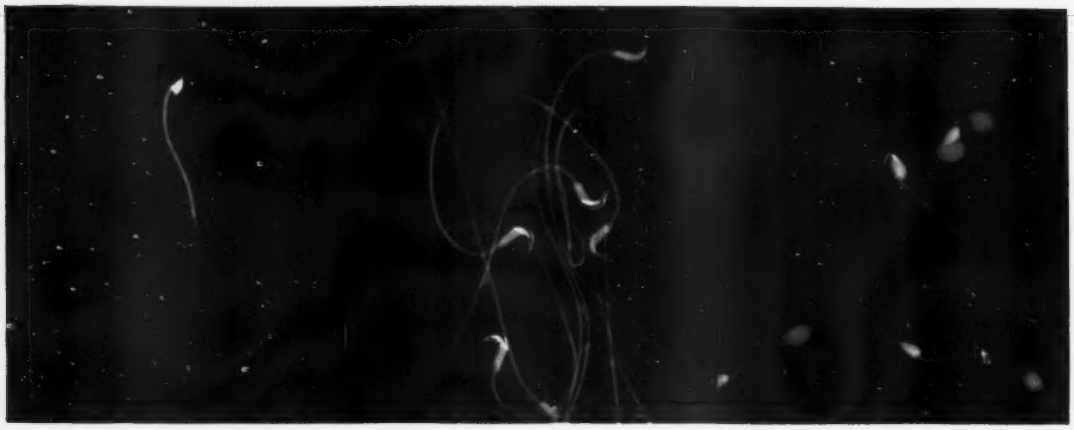


FIGURA 10 – *Jird de Libia.* FIGURA 11 – *Criceto dorado.* FIGURA 12 – *Ratón campestre.*

FIGURA 13 – *Ratón doméstico.* FIGURA 14 – *Criceto chino.* FIGURA 15 – *Espermátides de criceto chino.*

FIGURAS 7–15 – *Espermatozoos vivos de mamífero y espermátides tratados con anaranjado de acridina y fotografiados a la irradiación ultravioleta.* (× 660)

da resultados espectaculares con los espermatozoos de los roedores, especialmente los que tienen acrosomas largos, pero son menos reveladores con espermatozoos de conejo y toro, en los que el acrosoma es más bien pequeño. Queda por establecer todavía el significado de la fluorescencia policromática obtenida, pero trabajos recientes en que se emplearon técnicas parecidas en otras clases de tejido han demostrado que las estructuras que contienen ADN presentan fluorescencia verde con anaranjado de acridina, y fluorescencia roja las que contienen ácido ribonucleico (ARN) [1, 4]. Sin embargo, es poco probable que el acrosoma contenga cantidades apreciables de ARN, ya que no puede teñirse con pironina [12] y muestra insignificante absorción de radiación ultravioleta (Figs. 36–41). Además, el análisis químico de espermatozoos maduros muestra su notable falta de ARN [5], deficiencia que cabe esperar que limite su facultad sintetizante. Sin embargo, es, bastante clara una propiedad de la substancia que causa la fluorescencia roja del acrosoma: la facilidad con que abandona los espermatozoos lavados y secos o almacenados *in vitro* a la temperatura ambiente (compárense las Figs. 16 y 17). La pérdida de esta substancia puede explicar los variables resultados conseguidos a menudo con métodos más convencionales para diferenciar el acrosoma. La facultad del acrosoma de exhibir fluorescencia roja desaparece también en el conducto genital femenino; esto ocurre antes de la muerte de un espermatozoo y puede relacionarse con la pérdida de la fertilidad.

Mientras que el espermatozoo, como un todo, resiste notablemente a la distorsión y desintegración, el acrosoma es una estructura relativamente frágil y presenta cambios degenerativos cuando está sometido a condiciones desfavorables.

La cola y la movilidad. La cola es la unidad propulsora del espermatozoo y actúa mediante la propagación de impulsos ondulantes bidimensionales que se transmiten distalmente a lo largo de la cola. Es un flagelo largo (40–250 μ), diferenciado en cuatro regiones: el cuello, el segmento medio, el principal y el final. Durante el desarrollo, la cola rudimentaria emerge como un delgado filamento de los centríolos espermáticos, que aun en la fase inicial tiene unos movimientos ondulatorios que parecen iniciarse desde los centríolos.

El cuello es la corta extremidad anterior de la cola; se sabe muy poco acerca del detalle de su estructura. Adheridos al cuello, pero incrustados aparentemente en la base del núcleo están los gránulos basales. Ciertas técnicas han comprobado la presencia de tres gránulos en esta región (Fig. 44); según otras técnicas hay solamente dos (Fig. 50). Dos explicaciones posibles hay: existen tres gránulos, de los cuales dos difieren del tercero por sus propiedades; o bien que el número varía según las diferentes especies. Con frecuencia la microscopía fluorescente muestra, con la ayuda del colorante rodamina, dos gránulos en la base de la cabeza del espermatozoo móvil de roedor, pero cuando el espermatozoo pierde su movilidad los gránulos no presentan fluorescencia [7].

Un centro axial de veinte fibras discretas corre a todo lo largo desde el cuello hasta la cola. La existencia de semejantes fibras se conoce desde hace 70 años, pero su número y su disposición exacta dentro de la cola sólo se han observado recientemente por medio del microscopio electrónico. Se sabe en la actualidad que el centro axial se compone de dos fibras centrales rodeadas de otras nueve fibras de un diámetro parecido. Estas, a su vez, van rodeadas de otro anillo de nueve fibras más densas (Figs. 56 y 58) [9]. Las pruebas de que disponemos indican que las fibras se extienden en línea recta a lo largo de la cola y no están retorcidas alrededor de su eje. Parecen estar reunidas en tres haces, o tal vez solamente en dos, en el cuello.

La pieza media se caracteriza por la presencia de una hélice doble mitocóndrica rodeando el centro axial. Esta hélice puede apenas resolverse mediante microscopía ultravioleta, y es claramente demostrable por el microscopio electrónico (Fig. 57). Está formada por la unión de mitocondrias procedentes del espermátido,

El segmento principal es la parte más larga de la cola y el más importante elemento del mecanismo propulsor. En esta región, el centro axial va rodeado de una fuerte vaina proteínica helicoidal, a ambos lados de la cual corre un pequeño reborde [9]. No tiene mitocondrias. La cola termina en un segmento final corto (3–10 μ), que no está envuelto por ninguna vaina helicoidal.

El mecanismo posible mediante el cual la cola produce su movimiento característico ha sido tratado recientemente por J. R. G. Bradfield [9]. En virtud de su tamaño y posición, las nueve fibrillas del anillo exterior se han supuesto ser los principales elementos contráctiles, capaces de propagar contracciones localizadas a lo largo de su extensión. La vaina helicoidal proteínica, junto con una matriz interfibrosa, proporciona probablemente la estructura esquelética contra la que pueden apoyarse las fibras contráctiles para actuar.

Las fibras internas pueden especializarse para la rápida conducción de impulsos, que emergen rítmicamente del cuello y que coordinan las contracciones localizadas de las fibras exteriores. Cabe anotar de paso, sin embargo, que podría proponerse una explicación más sencilla si las fibras se retorcieran alrededor del eje de la cola en lugar de actuar en línea recta como se cree al presente. No hay prueba de que haya aparato contráctil en la mitocondria, y es probable que éstas sólo actúen como suministradoras de energía. En realidad, en vista de la conocida localización de sistemas enzímicos en el interior de la mitocondria, y del papel que estos organículos desempeñan en la síntesis de compuestos fosfatados de elevada energía, se considera el segmento medio como la fuente principal de fuerza motriz del espermatozoo, aunque es posible la distribución de enzimas glicólicas por toda la matriz interfíbrica. Se sabe que la cola contiene todo el mecanismo necesario para la movilidad, pues las colas que se han separado de sus cabezas continúan siendo totalmente móviles.

Los espermatozoos permanecen en reposo mientras están dentro del epidídimo, pero adquieren intensa movilidad en la eyaculación (o cuando se extraen del epidídimo). El factor activante principal parece ser la aumentada existencia de oxígeno. La rapidez del movimiento de traslación *in vitro* varia con la naturaleza del medio suspensor y con la temperatura, y es del orden de 100 μ por segundo a la temperatura del cuerpo. Los espermatozoos tienden a auto-orientarse contra una corriente, porque ésa es su posición de mayor estabilidad mecánica. Por otra parte, no hay pruebas de que la dirección de nado esté influenciada por gradientes químicos.

Desde el punto de vista teleológico cabe suponer que el fin de la movilidad es capacitar al espermatozoo para que ascienda por el conducto genital femenino hasta el lugar de la fecundación en los tubos de Fallopio, pero no parece que sea así, ya que en varias especies se sabe que los espermatozoos llegan hasta ese lugar mucho más rápidamente de lo que lo podrían conseguir ellos mismos por su propia movilidad. Ciertamente, el transporte a través del conducto puede casi atribuirse a las contracciones musculares del conducto mismo y a las corrientes producidas por los cilios que tapizan dichas paredes. La función principal de la movilidad, por tanto, parece ser asistir al espermatozoo a penetrar las barreras que circundan el huevo.

La gotícula citoplásmica. La mayor parte del citoplasma espermático se elimina de la célula durante la espermatogénesis, pero una pequeña burbuja — la gotícula citoplásmica — permanece por algún tiempo adherida al cuello del espermatozoo. Al tiempo de pasar a través del epidídimo, la gotita va desde el cuello hasta el extremo distal del segmento medio y, al mismo tiempo, el espermatozoo desarrolla su capacidad de fecundación y movilidad. En la eyaculación la gotita se separa del espermatozoo.

La función de la gotita citoplásmica constituye uno de los enigmas principales en la vida del espermatozoo. Su presencia invariable en los espermatozoos cuando se separan del testículo, su tamaño y forma característica, y su regular desplazamiento a lo largo del segmento medio significan que no se trata meramente de restos fortuitos de material de desecho. Sin embargo, su desprendimiento de los espermatozoos en el momento de la eyaculación demuestra que su función debe relacionarse con la fisiología del espermatozoo dentro del conducto masculino. Ello hace suponer que tal vez intervenga en los procesos de maduración o en el mantenimiento de la célula en estado de reposo por un período mucho más largo que el que se podría conseguir a una temperatura parecida fuera del epidídimo.

La membrana superficial. La membrana de la superficie del espermatozoo está compuesta de un complejo proteína-lípido, del que pueden extraerse fácilmente fosfolípidos lavándolo en agua salina. La superficie de la cabeza, o tal vez sólo la parte que está cubierta por el acrosoma, es serológicamente distinta de la superficie de la cola, diferencia que con toda probabilidad tiene un gran valor en la fertilización. Cuando muere la célula, la permeabilidad de su membrana aumenta considerablemente, lo cual se ha aprovechado para idear técnicas de coloración que distingan los espermatozoos vivientes de los muertos (Fig. 18). La superficie de la célula muerta experimenta una gran atracción hacia el cristal; los espermatozoos vivientes pueden fácilmente separarse de los muertos, filtrándolos a través de una capa o estrato de finas cuentas de cristal [2].

Diferencias de las especies en tamaño y forma. Aun cuando los espermatozoos de los mamíferos tienen todos una estructura común, los espermatozoos de cada especie presentan diferencias de forma y proporciones bastante características. Realmente es posible identificar un animal examinando sus espermatozoos. El tamaño total de la célula, aunque característico para cada especie, no varía mucho entre las especies ni guarda relación alguna

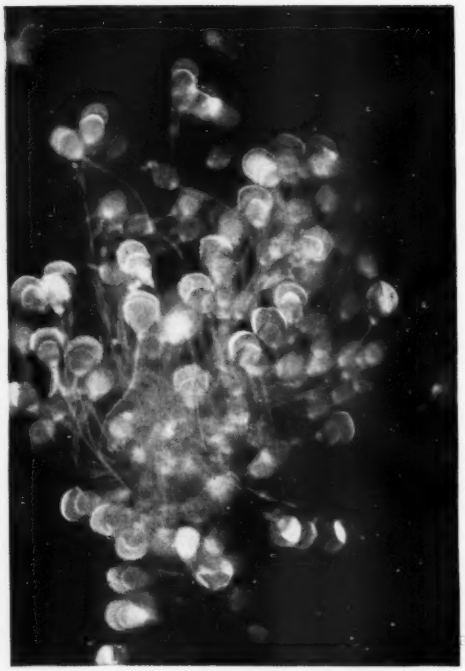


Figura 16

Figura 17

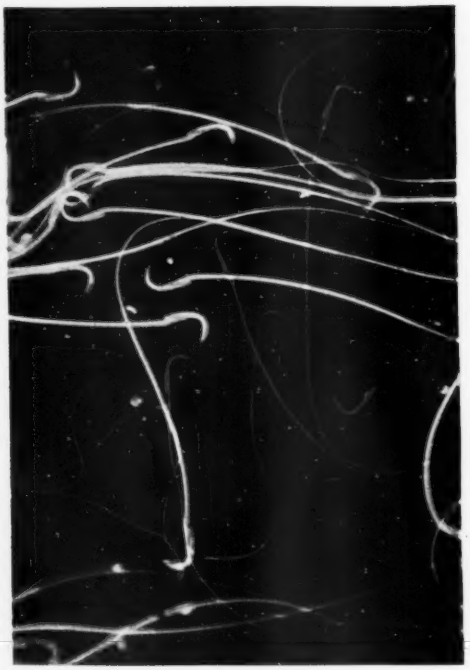


Figura 18

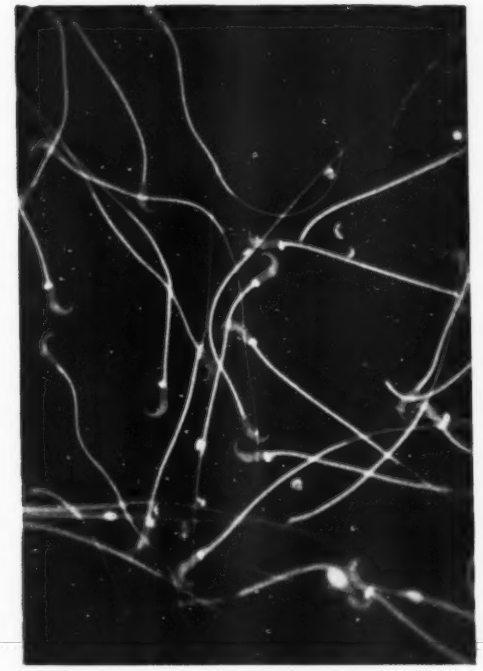


Figura 19

FIGURAS 16 y 17 – *Espermatozoos fluorescentes de cobayo bajo radiación ultravioleta después de tratamiento con anaranjado de acridina. Los que aparecen en la Fig.* 16 *fueron fotografiados inmediatamente después de su colección; los de la Fig.* 17 *se conservaron previamente* in vitro *por algún tiempo.* (× 660)

FIGURA 18 – *Fluorescencia distinta que presentan los espermatozoos de ratas vivientes (amarillo) y muertos (azul) cuando se tratan con una mezcla de primulina y rodamina B y se examinan en radiación ultravioleta.* (× 660)

FIGURA 19 – *Espermatozoos de criceto dorado tratados con rodamina 6G y examinados bajo radiación ultravioleta. Los cuerpos fluorescentes en la base de las cabezas se cree sean gránulos basales.* (× 660)

FIGURA 20 – Dasyurops maculatus.

FIGURA 21 – Perameles nasuta.

FIGURA 22 – *Vampiro.*

FIGURA 23 – *Ratón campestre.*

FIGURA 24 – *Rata del algodón.*

FIGURA 25 – *Criceto dorado.*

FIGURA 26 – *Criceto chino.*

FIGURA 27 – *Jird de Libia.*

FIGURA 28 – *Rata listada.*

FIGURA 29 – *Rata albina.*

FIGURA 30 – *Rata multimamata.*

FIGURA 31 – *Hurón.*

FIGURA 32 – *Gato.*

FIGURA 33 – *Cabra.*

FIGURA 34 – *Coala.*

FIGURA 35 – *Hombre.*

FIGURAS 20–35 – *Las cabezas de espermatozoos vivos de mamíferos, según aparecen en microscopía de contraste de fase.* (× 2000)

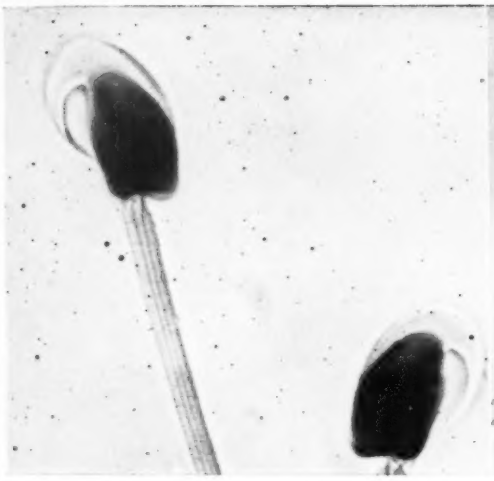


FIGURA 36 – *Rata del algodón.*

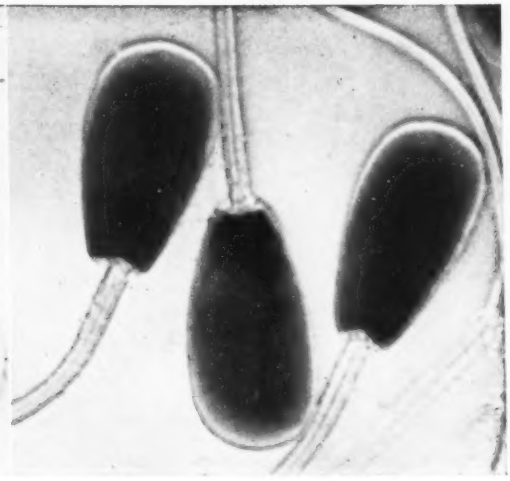


FIGURA 37 – *Toro.*

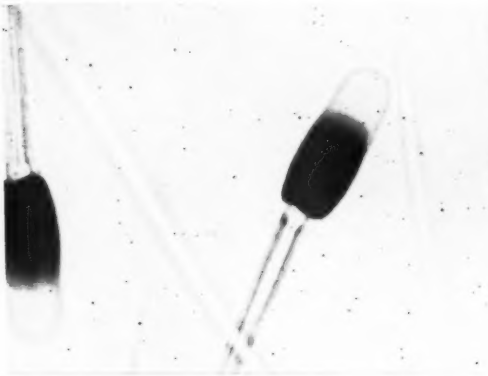


FIGURA 38 – *Vampiro.*

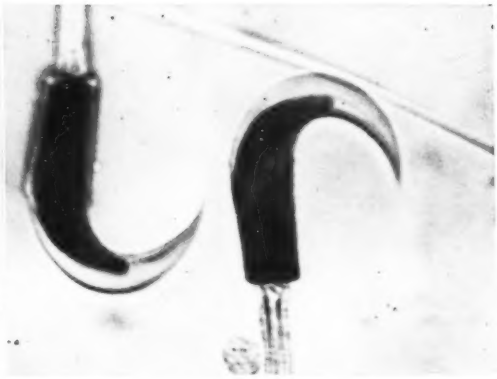


FIGURA 39 – *Criceto dorado.*

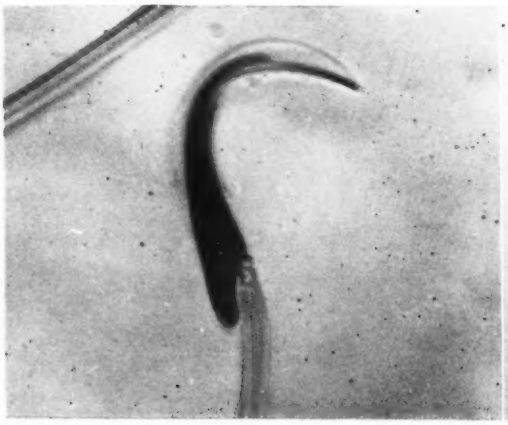


FIGURA 40 – *Rata albina.*

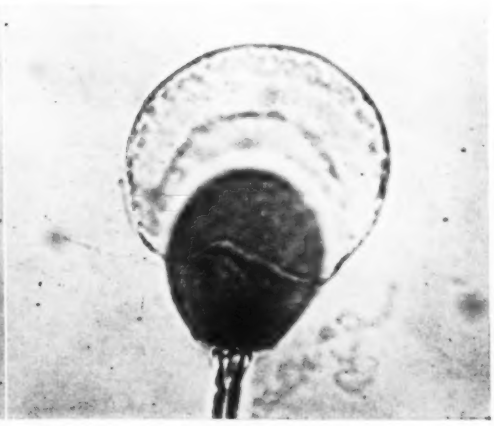


FIGURA 41 – *Cobayo.*

FIGURAS 36–41 – *Microfotografías ultravioletas de cabezas de espermatozoos vivos de mamíferos, mostrando la fuerte absorción de radiación por el ácido nucleico en el núcleo.* (× 4000 *aprox.*) (*La Fig.* 37 *procede del* J. exp. Biol., **29**, 445, 1952.)

FIGURA 42 – *Criceto dorado* (*Giemsa;* × 2900).

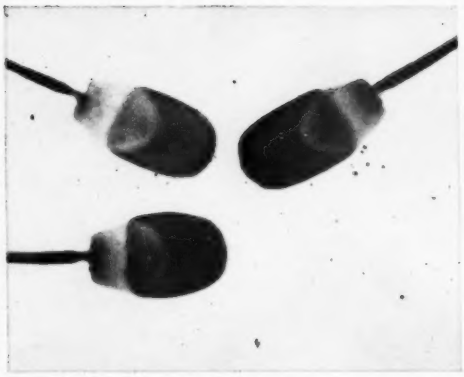


FIGURA 43 – *Jabalí* (*Giemsa;* × 2800).

FIGURA 44 – *Toro* (*Giemsa;* × 2400).

FIGURA 45 – *Cobayo* (*Giemsa;* × 2200).

FIGURA 46 – *Cobayo* (*impregnación argéntica;* × 2200).

FIGURA 47 – *Toro* (*impregnación argéntica;* × 2400).

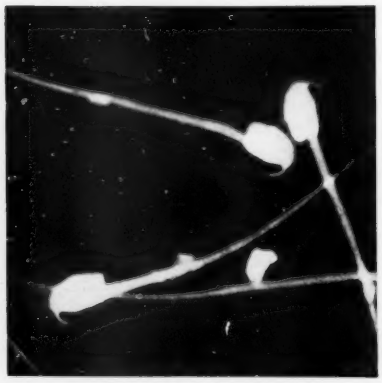


FIGURA 48 – *Rata del algodón* (*primulina;* × 1400).

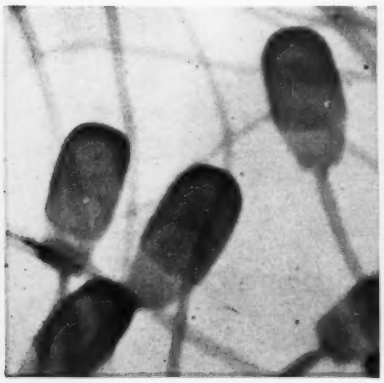


FIGURA 49 – *Jabalí* (*PAS;* × 2800).

FIGURA 50 – *Ratón doméstico* (*rodamina 6G;* × 1200).

FIGURAS 42–50 – *Microfotografías de preparaciones de espermatozoos de mamíferos teñidas mostrando el acrosoma, la varilla, el segmento ecuatorial, la vaina post-nuclear, y los gránulos basales.* (*Fig.* 49 *en prensa,* J. R. micr. Soc.)

con el tamaño del animal del que proviene; pero las diferencias interespecíficas en el tamaño de la cabeza y segmento medio relativas al resto del espermatozoo son particularmente notables. El área en proyección de la cabeza del espermatozoo del cobayo, por ejemplo, es casi cinco veces mayor que la del espermatozoo humano, si bien la longitud del espermatozoo del cobayo es únicamente unas dos veces mayor que el humano. El segmento medio del espermatozoo de la rata constituye como un 40% de la longitud total de la cola, mientras que la del espermatozoo humano es sólo el 10% (compárense también las Figs. 4 y 5). Más sorprendentes aún son las diferencias en la forma de la cabeza. En la mayoría de los animales grandes la cabeza es más o menos una estructura oval y aplanada. En el hombre (Fig. 35) es oval en vista plana, pero tiene forma de pera en sección sagital. En muchos roedores (Figs. 23–30) es asimétrica y a menudo de forma ganchuda. En muchos marsupiales, la cabeza se halla hondamente invaginada en el extremo posterior (Fig. 21), pero en algunos tiene más bien forma de varilla (Fig. 20); la cabeza parece pivotar libremente en el punto de la inserción del cuello. Los espermatozoos de los monotremas ovíparos (Fig. 3) tienen cabezas largas, estrechas, vermiculares y se asemejan a los espermatozoos de los pájaros más que a los de los mamíferos. No se conoce el significado desde el punto de vista de la adaptación de las diferencias de forma entre las especies. Las diferencias de la forma de la cabeza entre razas dentro de una especie se han observado también en los espermatozoos del ratón [8].

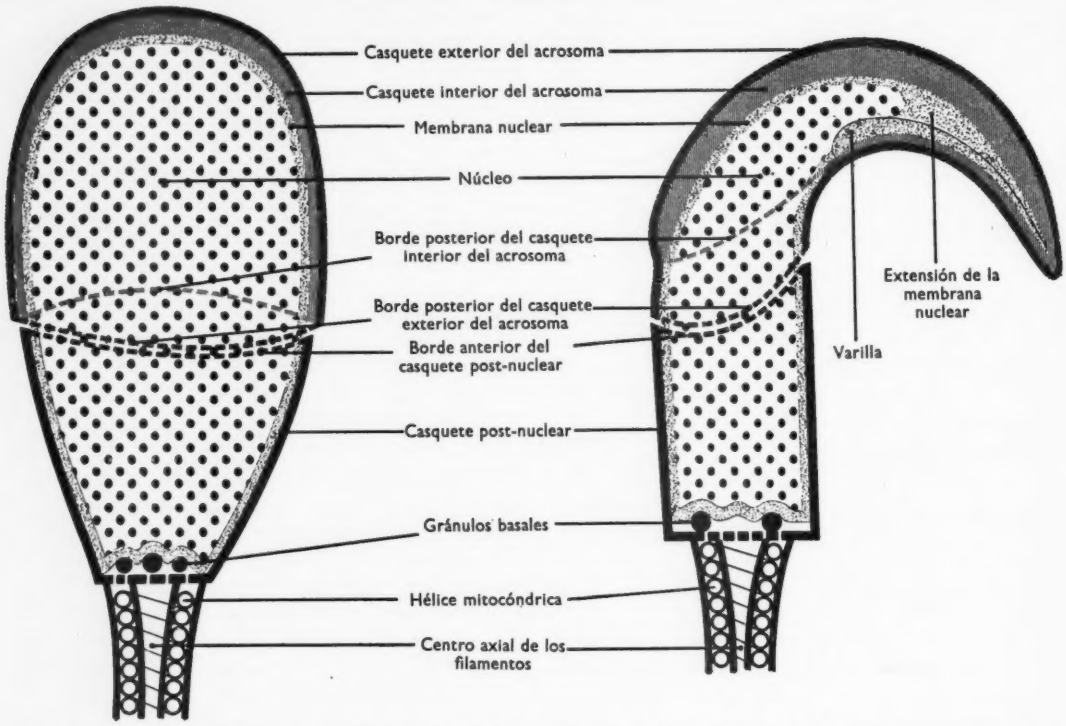
Metabolismo y supervivencia. Antes se creía que los espermatozoos de los mamíferos eran incapaces de utilizar alimento nutritivo extracelular y que el límite de su existencia independiente quedaba determinado por las reservas de alimento intracelular adquirido durante la espermatogénesis. Hoy sabemos que estas células pueden metabolizar una cantidad de substratos extracelulares y utilizar la energía así obtenida para el mantenimiento de sus funciones fisiológicas. Los principales sistemas proveedores de energía de los espermatozoos de los mamíferos son el sistema glicolítico de Embden-Meyerhof, por el que la fructosa y la glucosa se pueden transformar en ácido láctico, y el sistema citocromo-oxidasa-citocromo y el ciclo de Krebs, por el cual una variedad de substratos (notablemente los lactatos y piruvatos) pueden oxidarse dando dióxido de carbono y agua. Aun en ausencia de substrato exógeno, los espermatozoos de los mamíferos pueden respirar activamente y mantener su movilidad durante un tiempo apreciable. Bajo estas condiciones se cree que obtienen energía mediante oxidación de un fosfolípido endógeno, componente característico de las mitocondrias, de una manera análoga al metabolismo normal de los espermatozoos del erizo de mar [19]. Se supone que las enzimas oxidantes están todas localizadas dentro de las mitocondrias, pero las enzimas de Embden-Meyerhof se consideran generalmente como si fuesen citoplásmicas en distribución y por tanto, con toda probabilidad, más ampliamente extendidas por la célula. El metabolismo glicolítico puede tener lugar bajo condiciones anaeróbicas, pero produce menos energía que la oxidación aeróbica.

El metabolismo, sin embargo, no está restringido a los procesos catabólicos. Trabajos recientes han demostrado que los espermatozoos de los mamíferos, como otras muchas células, sintetizan lípidos [17] e incorporan amino-ácidos a sus proteínas [5], lo cual es de especial interés en vista de la ausencia aparente de ARN en los espermatozoos.

Parece probable que los procesos aeróbicos desempeñen el papel predominante en el metabolismo de los espermatozoos dentro del conducto reproductivo femenino, porque en tal situación disponen de oxígeno y lactato. Sin embargo, en la mayoría de las especies, los espermatozoos no sobreviven más de uno o dos días en el interior del conducto femenino, aun cuando algunos murciélagos proporcionan excepciones notables. Dentro del epidídimo los espermatozoos parecen existir en condiciones de deficiencia de oxígeno y azúcar glicolisable; nada se sabe de su metabolismo en tales circunstancias, pero probablemente la actividad metabólica es baja. Los espermatozoos conservan su fertilidad durante uno o dos meses y su movilidad durante más tiempo. Sólo sobreviven por breve tiempo *in vitro* a la temperatura del cuerpo y del ambiente, pero puede prolongarse la supervivencia reduciendo dicha temperatura. Por dilución en medios convenientes y cuidadoso enfriamiento la fertilidad del espermatozoo del toro puede preservarse durante varios días a 4° C y durante varios años a −79° C [18].

LA FUNCION DEL ESPERMATOZOO EN LA FERTILIZACION

Para penetrar en el huevo, el espermatozoo debe atravesar tres barreras. Estas son las delgadas membranas vitelinas que encierran el protoplasma del huevo, la gruesa (10–12 μ) zona pelúcida mucoproteínica, y varias capas o estratos de células foliculares que se adhieren al exterior



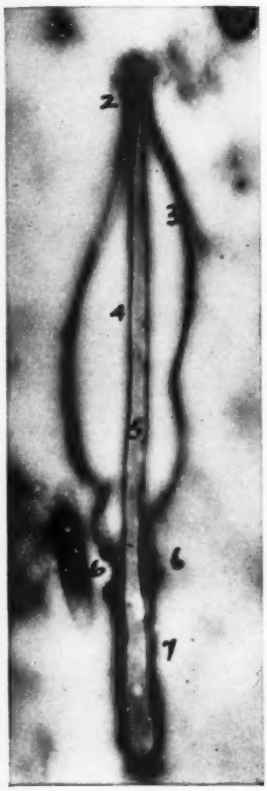
FIGURAS 51 y 52 – *Representación diagramática de la estructura probable de las cabezas de los espermatozoos de toro (izquierda) y de criceto (derecha) respectivamente.*

de la zona pelúcida y están incrustadas en una matriz gelatinosa compuesta principalmente de ácido hialurónico.

Los espermatozoos pasan a través de los estratos de células foliculares, atravesando la matriz con ayuda de la hialuronidasa, que es una enzima que puede extraerse con mucha facilidad de los espermatozoos de los mamíferos. En presencia de gran número de espermatozoos, las células del folículo se desprenden rápidamente del huevo, pero a pesar de los miles de millones de espermatozoos depositados en el conducto femenino durante el coito, sólo algunos millares consiguen llegar al lugar de la fertilización, y los que llegan primero al huevo son demasiado pocos para desnudarlo. La penetración del huevo ocurre antes de la dispersión de las células del folículo, que puede ayudar a la entrada del espermatozoo, aumentando el área del blanco y orientando el espermatozoo hacia el mismo. Evidentemente, la hialuronidasa del espermatozoo es bastante para permitirle abrirse camino a través de la masa de células del folículo. Parece probable que el acrosoma contiene la hialuronidasa del espermatozoo; puede hallarse relacionada con el material lábil que presenta una fluorescencia roja después de tratamiento con anaranjado de acridina.

Al llegar a la zona pelúcida, el espermatozoo se adhiere a la superficie de ésta por el acrosoma, y hay pruebas de que esta adherencia se efectúa por medio de una reacción del tipo antígeno-anticuerpo [6]. El espermatozoo entonces procede a atravesar la zona pelúcida, probablemente con la ayuda de otra enzima localizada asimismo dentro del acrosoma. Las tentativas para extraer esta enzima de los espermatozoos de los mamíferos no han tenido resultado hasta el presente, pero el pequeño orificio que queda en la zona pelúcida después del paso del espermatozoo indica su probable existencia. Un rasgo notable de esta penetración es que no puede tener lugar hasta que los espermatozoos hayan permanecido por un corto período dentro del conducto femenino y sufrido cierto cambio preparatorio. Este cambio se llama «capacitación»; su naturaleza es desconocida, pero se supone que entraña la activación de esa hipotética enzima en el interior del acrosoma.

Después de atravesar la zona, el espermatozoo acaba por adherirse a la membrana vitelina y al



FIGURAS 53 Y 54 – *Secciones longitudinales de cabezas de espermatozoos de jabalí y de carnero respectivamente:* 1, *casquete exterior del acrosoma.* 2 *y* 3, *casquete interior del acrosoma.* 4, *membrana nuclear.* 5, *núcleo.* 6, *unión del acrosoma y del casquete post-nuclear.* 7, *casquete post-nuclear. La separación entre el acrosoma y el núcleo en la figura* 53 *es un artefacto.* (× 13 000 *y* 38 000 *respectivamente.*)

FIGURA 55 – *Cabeza de espermatozoo de toro, mostrando un defecto hereditario del acrosoma (sombreado oro-paladio;* × 9000).

FIGURA 56 (*Derecha*) – *Sección transversal del segmento medio de la cola de un espermatozoo de carnero.* (× 60 000)

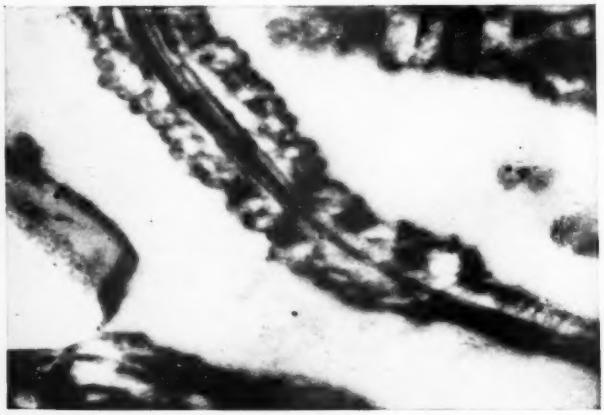


FIGURA 57 – *Sección longitudinal de parte del segmento medio y del segmento principal de la cola de un espermatozoo de carnero, mostrando la hélice mitocóndrica y los filamentos axiales.* (× 20 000)

FIGURA 58 – *Sección transversal del segmento principal de la cola de un espermatozoo de jabalí. Los anillos interior y exterior de nueve fibras y las dos fibras centrales no están resueltas separadamente en esta fotografía.* (× 50 000)

FIGURAS 53–58 – *Micrografías electrónicas de espermatozoos de jabalí, toro y carnero.*

parecer se hunde lentamente en la parte citoplásmica del huevo, primero la cabeza del espermatozoo y luego la cola. Esta entrada está relacionada con el estímulo que desarrolla el huevo y con los cambios de la membrana vitelina y la zona pelúcida que hacen impenetrables estas membranas a otros espermatozoos, reduciéndose así el peligro de fertilización por más de un espermatozoo.

En el interior del huevo, el núcleo del espermatozoo aumenta grandemente de tamaño y pierde su forma característica. El núcleo se mueve entonces hacia el centro del huevo, y otro tanto hace el núcleo de éste. Los dos núcleos entran en íntimo contacto, desaparecen las membranas nucleares y los núcleos son reemplazados por dos grupos de cromosomas que se reúnen para formar un solo grupo. Esto determina el fin de la fertilización y el principio de la primera división mitótica del nuevo embrión. La unión de los dos grupos haploideos de cromosomas reestablece el número diploideo de las especies. Cuando se divide el huevo, los cromosomas se duplican y cada célula hija recibe una participación igual de cromosomas suministrados por el espermatozoo y por el huevo.

Como por regla general el espermatozoo entra por entero en el huevo, es posible que haya otras partes de aquél que representen una función importante o esencial en el desarrollo del nuevo embrión. Se ha sugerido, en efecto, que se debe al acrosoma el estímulo del huevo para activar su desarrollo, que los centríolos del espermatozoo tienen una parte esencial en la formación del primer huso cromático y que las mitocondrias del segmento medio continúan su función en el interior del citoplasma del huevo.

LISTA DE LAS ESPECIES CUYOS ESPERMATOZOOS SE ILUSTRAN

	Figuras
MONOTREMAS	
Oso hormiguero australiano, *Tachyglossus aculeatus*	3
MARSUPIALES	
Dasyurops maculatus	20
Perameles nasuta	21
PLACENTARIOS	
Topo europeo común, *Talpa europaea*	4
Vampiro, *Rhinolophus ferrum-equinum*	22, 38
Coala, *Galago crassicordatus*	34
Hombre, *Homo sapiens*	35
Hurón, *Mustela furo*	31
Gato, *Felis catus*	32
Delfín, *Globicephalus melaena*	5
Jabalí, *Sus scrofa*	43, 49, 53, 58
Toro, *Bos taurus*	37, 44, 47, 51, 55
Carnero, *Ovis aries*	54, 56, 57
Cabra, *Capra hircus*	33
Conejo, *Oryctolagus cuniculus*	9
Rata listada, *Lemniscomys barbarus*	28
Rata albina, *Rattus norvegicus*	8, 18, 29, 40
Rata multimamata, *Mastomys coucha*	30
Ratón doméstico, *Mus musculus*	13, 50
Criceto dorado, *Mesocricetus auratus*	11, 19, 25, 39, 42, 52
Criceto chino, *Cricetulus griseus*	14, 15, 26
Rata del algodón, *Sigmodon hispidus*	7, 24, 36, 48
Jird de Libia, *Meriones libycus*	10, 27
Ratón campestre, *Microtus agrestis*	12, 23
Cobayo, *Cavia porcellus*	16, 17, 41, 45, 46

Nos complacemos en testimoniar nuestro agradecimiento a Mr. J. Smiles por su invaluable asistencia en problemas de microscopía, a Mr. M. R. Young por su cooperación en la obtención de fotomicrografías ultravioleta y de fluorescencia de las Figs. 7–19 y 36–41, al Dr. J. L. Hancock por suministrar algunas de las fotomicrografías de espermatozoos teñidos (Figs. 43, 44, 49), al Dr. J. R. G. Bradfield por sus micrografías electrónicas (Figs. 53–58), y al Dr. Adolph Bolliger, al Profesor E. C. Amoroso y a Mr. Michael Blackmore por suministrar para nuestro estudio espermatozoos de marsupiales, gato y vampiro respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

[1] Armstrong, J. A. *Exp. Cell Res.*, **11**, 640, 1956.
[2] Bangham, A. D. y Hancock, J. L. *Nature, Lond.*, **176**, 656, 1955.
[3] Barer, R., Ross, K. F. A. y Thaczyk, S. *Ibid.*, **171**, 720, 1953.
[4] von Bertalanffy, L. y Bickis, I. *J. Histochem. Cytochem*, **4**, 481, 1956.
[5] Bhargava, P. M. *Nature, Lond.* (En prensa.)
[6] Bishop, D. W. y Tyler, A. *J. exp. Zool.* **132**, 575, 1956.
[7] Bishop, M. W. H. y Smiles, J. *Nature, Lond.*, **179**, 307, 1957.
[8] Braden, A. W. H. Tesis, Universidad de Edimburgo, 1956.
[9] Bradfield, J. R. G. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 306, 1955.
[10] Clermont, Y., Einberg, E., Leblond, C. P. y Wagner, S. *Anat. Rec.*, **121**, 1, 1955.
[11] Dan, J. C. *Int. Rev. Cytol.*, **5**, 365, 1956.
[12] Daoust, R. y Clermont, Y. *Amer. J. Anat.*, **96**, 255, 1955.
[13] Friend, G. F. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **78**, 419, 1936.
[14] Hancock, J. L., *J. exp. Biol.*, **30**, 50, 1953.
[15] *Idem. J. R. micr. Soc.* (En prensa.)
[16] Leuchtenberger, C., Murmanis, I., Murmanis, L., Ito, S., y Weir, D. R., *Chromosoma*, **8**, 73, 1956.
[17] Lovelock, J. E. y Bishop, M. W. H. (Observaciones no publicadas.)
[18] Polge, C. En *Mammalian Germ Cells*, pág. 108. G. E. W. Wolstenholme (Compilador). J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1953.
[19] Rothschild, Lord. *Endeavour*, **15**, 79, 1956.

Los recintos ferromagnéticos

L. F. BATES

Los fenómenos físicos que ocurren cuando se magnetiza un metal ferromagnético han sido objeto de numerosos estudios, tanto teóricos como experimentales. Se describen aquí algunas aportaciones recientes al conocimiento de tales fenómenos, obtenidas mediante técnicas que, pese a su elegancia, no son en esencia otras que las conocidas por todos los que se inician en el magnetismo y gracias a las cuales podemos estudiar minuciosamente algunos de esos fenómenos.

INTRODUCCION

Se describen aquí algunos interesantes e importantes resultados obtenidos con una variante moderna de la clásica experiencia de hacer visibles las líneas de fuerza magnética por medio de limaduras de hierro. Las notables propiedades magnéticas de las substancias ferromagnéticas, como el hierro, suelen atribuirse a fuerzas especiales de alineación, llamadas fuerzas de intercambio, establecidas entre los electrones en espín en átomos próximos. El objeto primordial de las investigaciones actuales es conseguir información detallada sobre lo que ocurre cuando una substancia ferromagnética se somete a influencias magnéticas, con objeto de comprobar las teorías fundamentales del magnetismo e indicar maneras de mejorar el rendimiento de los materiales ferromagnéticos. La mayor parte de los trabajos se limitan a muestras constituidas por un monocristal, puesto que los materiales policristalinos están formados de ordinario por un gran número de cristales muy pequeños en cuyos contornos tienen lugar fenómenos de gran interés pero que complican demasiado el experimento.

Consideremos primero el comportamiento magnético de un cristal de cobalto, ejemplo bien definido de la llamada anisotropía cristalina. El cristal puede imaginarse como un bloque hexagonal que a las temperaturas ordinarias puede ser magnetizado con facilidad en cualquiera de los dos sentidos paralelos a su eje, pero difícilmente en los sentidos perpendiculares, o sea, en los comprendidos en el plano del hexágono; por ello los dos sentidos primeros se denominan de magnetización fácil o preferente.

Para explicar la facilidad con que un metal ferromagnético desmagnetizado puede ser magnetizado casi hasta saturación sometiéndole a un campo magnético débil, se admite que el metal se compone de un grandísimo número de zonas o recintos elementales, cada uno saturado magnéticamente, y se considera que el vector magnético de cada recinto es paralelo al sentido de magnetización preferente correspondiente al cristal de que forma parte. En una muestra desmagnetizada, los vectores de los varios recintos están en general orientados al azar, o, en ciertos casos, agrupados según cierta configuración. Entre recintos contiguos habrá una frontera o estrecha zona de transición.

Cuando actúa un campo magnético sobre un cristal desmagnetizado se producen dos cambios principales. Primero, aquellos recintos cuyos vectores magnéticos están inclinados menos de 90° respecto del campo aplicado, crecen a expensas de los contiguos menos magnetizados, por el llamado «corrimiento de frontera». En segundo lugar, los vectores de cada recinto tienden a girar hasta ponerse paralelos al campo magnetizante. El primer efecto se da principalmente con campos débiles y moderados y el segundo con los intensos, aunque a menudo coinciden ambos. Con campos muy intensos, todos los vectores apuntan en el sentido del campo, y el cristal está saturado técnicamente, constituyendo un gran recinto único.

TECNICA EXPERIMENTAL

Para estos estudios, el cristal debe ser tallado cuidadosamente y su superficie bien preparada. Por lo general se le da un buen pulido mecánico, y la superficie resultante, amorfa y deteriorada, se elimina luego con un pulido electrolítico en un baño especial, cuya corriente se regula [1] con un sencillo circuito en puente. El cobalto es uno de los metales más fáciles de preparar para su estudio en forma de monocristal.

La superficie pulida se monta horizontalmente y se le coloca encima una gota de suspensión coloidal de magnetita o se esparce sobre ella un polvillo ferromagnético muy fino. Las partículas de magnetita o las del polvillo se distribuyen de cierto modo que puede ser observado o fotografiado

con un microscopio metalográfico con amplificaciones entre 50 y 400. Tales distribuciones se llaman espéctros magnéticos o figuras de Bitter [2]. Los mejores resultados se obtienen de ordinario con suspensiones coloidales de magnetita obtenidas según las indicaciones de Elmore [3, 4].

EXPERIMENTOS CON CRISTALES DE COBALTO

Cuando se aplica la técnica a una franja cortada paralela al eje hexagonal en una cara del monocristal de cobalto sin magnetizar se obtiene una distribución como la de la Fig. 3. Las líneas oscuras horizontales del coloide separan recintos que están magnetizados alternativamente según uno u otro de los dos sentidos de magnetización preferente. La figura en forma de daga a la derecha de la fotografía es un recinto interior, una estructura secundaria cuya función se describirá luego y que se magnetiza en sentido antiparalelo con respecto al recinto principal al que pertenece. La línea serrada del centro es muy poco frecuente y se debe probablemente al deterioro profundo de la cara del cristal.

Los depósitos de líneas gruesas se deben a la existencia de un límite de recinto a 180° entre dos recintos inmediatos. Actualmente se supone que el ferromagnetismo se debe a las acciones de intercambio entre los espines electrónicos, y los electrones causantes del ferromagnetismo en recintos inmediatos deben tener alineados sus vectores de espín en sentidos opuestos. Por ésto, en una hilera de átomos que atraviese el límite perpendicularmente a éste, los sentidos de los espines de los electrones deben cambiar alternativamente de átomo a átomo. Esto se manifestará como un campo disperso que surge sobre la intersección del límite del recinto con la superficie del cristal. Allí son atraídos y se fijan los dipolos magnéticos del coloide.

Cuando la muestra de la Fig. 3 se somete a un campo magnético de dirección paralela al eje del cristal, resulta magnetizada por un corrimiento de contorno de 180°. Los recintos se expanden y contraen alternativamente por sus lados hasta que el cristal se convierte en un gran recinto y desaparecen todos los contornos. Las Figs. 4 y 5 muestran los efectos de aplicar un débil campo magnético perpendicular a la superficie. Como no es probable que coincida con una cara cristalina, tendrá una pequeña componente de magnetización perpendicular a la superficie en cada recinto. Esta componente será aumentada o disminuida cuando se someta a un campo perpendicular débil. En la Fig. 4 dicho campo se dirige hacia adentro y en la Fig. 5 hacia afuera de la superficie; por referencia a las irregularidades de ésta se aprecia que ambas distribuciones se hallan invertidas.

También se ven en la primera fotografía varias líneas cortas negras o estrías verticales de depósito perpendiculares a los límites de los recintos principales. Proceden de pequeñas depresiones accidentales o huellas vaciadas durante el pulido. Cuando una huella va perpendicular al sentido de magnetización de un recinto, un campo disperso cubre el vaciado y atrae dentro partículas del coloide. Sin embargo, cuando está paralelo al sentido de la magnetización, el campo no lo cruza y no se deposita el coloide. Así pueden ensayarse los sentidos de magnetización de los recintos, haciendo finísimas rayas en la superficie con una fibra de vidrio [5]. En el plano basal del cristal de cobalto se producen unas distribuciones en estrella características, como las de la Fig. 6.

EXPERIMENTOS CON CRISTALES DE HIERRO-SILICIO

Como es difícil obtener cristales de hierro puro, muchos estudios de recintos se han hecho con cristales de hierro-silicio, con 3% de silicio. Son cristales cúbicos de cuerpo centrado y tienen seis direcciones de magnetización preferente paralelas a las aristas del cubo. Son instructivas las distribuciones que pueden observarse en una cara del cubo, o superficie (100). En estado desmagnetizado, la superficie está cubierta generalmente por una distribución en «abeto» como en la Fig. 7, cuya formación se explica como sigue [5]. Las ramas de los «abetos» se forman cuando la superficie del cristal difiere muy poco de un plano (100) exacto. El tronco del «abeto» se forma por la intersección de un límite de 180° con la superficie. Las ramas, que se magnetizan en sentido perpendicular al de los recintos principales, se forman por recintos de cierre elipsoidales que salen de los límites de los recintos y dan intersecciones triangulares con la superficie. La misión de los recintos de cierre es reducir en lo posible la superficie «libre» magnética. Cuanto más se aproxima la superficie a un plano (100) exacto mayores y más finas son las ramas.

En la Fig. 8 obtenida cuando se aplica un campo magnético débil paralelamente al límite de un recinto de 180° situado cerca del centro de la fotografía, se marcan con flechas los sentidos de magnetización de algunos recintos. El «abeto» de ramas perpendiculares al tronco situado en el cuadrante superior izquierdo tiene su tronco formado por la intersección del límite de un recinto

de 90° con la superficie, esto es, el límite separa dos recintos cuyos vectores magnéticos son perpendiculares entre sí. Las ramas se forman como antes por la intersección de recintos de cierre elipsoidales con la superficie y en este caso las ramas se unen al tronco de dos modos diferentes.

Bajo el centro de la Fig. 8 aparece una distribución semejante a un árbol con grueso tronco. A esta distribución se denomina «recinto de magnetización inversa». Según va aumentando la intensidad del débil campo magnético, se ensancha el tronco y se alarga el árbol de modo tan desmesurado que acaba por cubrir a aquél toda la superficie convirtiéndose en un recinto único.

EXPERIENCIAS CUANTITATIVAS

Se han realizado interesantes experimentos cuantitativos con cristales de hierro-silicio de forma y talla especiales. H. J. Williams y W. Shockley [6] cortaron una lámina paralela a una cara del cubo y le dieron la forma de marco, con lados paralelos a las aristas del cubo. En el estado no magnetizado se obtuvo un único límite de recinto de 180°, rodeando ininterrumpidamente la superficie del marco de forma que en el lado interior del límite la muestra estaba magnetizada en el sentido de las agujas del reloj y en el exterior, al contrario. Haciendo pasar una corriente por un arrollamiento fino devanado en un lado del marco, se somete el cristal a un campo magnético lo que supone desplazar el límite y se pueden hacer corresponder cambios en la magnetización con la posición del contorno.

L. Néel [7] fue el primero en señalar el notable comportamiento de una delgada muestra de hierro cortada según se indica en la Fig. 1. Las caras superior e inferior son planos (100) y los lados son planos (110), de modo que el eje mayor de la muestra es la dirección [110], o sea una diagonal de una cara del cubo. Cuando actúa solamente un campo muy pequeño paralelamente a este eje se llega a la situación que representa la Fig. 1(*a*). Los recintos principales contiguos están magnetizados alternativamente paralelos a los sentidos [001] y [00$\bar{1}$], los dos sentidos de magnetización preferente. Un sencillo sistema de *q* recintos internos sirve para evitar superficies magnéticas «libres» en los lados. Cuando se aplica un campo magnético apreciable *H*, los vectores de los recintos principales giran hacia dentro como en la Fig. 1(*b*), y a la vez se constituye un nuevo conjunto de *p* recintos de cierre.

Se han estudiado frecuentemente [5, 8–10] muestras cortadas como indica la Fig. 1; la Fig. 9

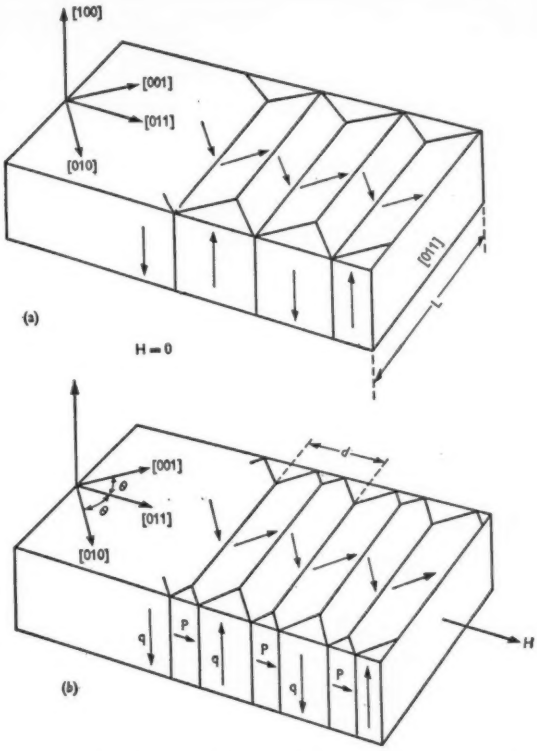


FIGURA 1 – *Estructura de los recintos en una muestra cortada según Néel.*

muestra un esquema general. Se usó una suspensión coloidal densa para evidenciar los sentidos de magnetización en recintos alternos; las extrañas huellas circulares en el centro de la figura son debidas probablemente a defectos bajo la superficie. En tales experiencias se mide con un potenciómetro magnético [11] el campo magnético obtenido colocando la muestra entre los polos de un simple electroimán y el período *d* se mide en las fotografías. La Fig. 2 indica los valores medidos para *d* con respecto a los valores correspondientes de *H* junto a la curva teórica basada en la Fig. 1(*b*) [11]. Es manifiesta la discrepancia entre experimento y teoría, pero en conjunto la concordancia es buena. De cualquier modo, no se espera una coincidencia exacta puesto que las distribuciones que aparecen en las superficies (110), distribuciones en «encaje», son muy complejas. Cuando el cristal es grueso, están bien definidas como en la Fig. 12(*a*), cuyo período *d'* es el mismo que para la superficie (100), aunque en ciertas muestras [10, 12] forman una inclinación hasta de 15° con la dirección prevista, lo que no tiene aún

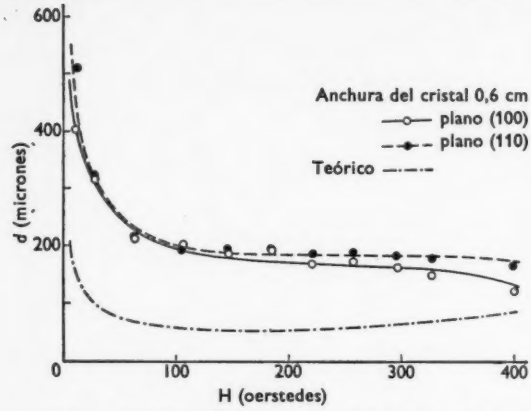


FIGURA 2 – *Variación con el campo del espaciado de los recintos en los planos* (100) *y* (110).

explicación. Con muestras delgadas se obtienen distribuciones como la de la Fig. 12(*b*). Se tiene por tanto prueba concreta de superficie magnética «libre», no prevista por la teoría.

LA INFLUENCIA DE LOS DEFECTOS

Néel fue quien primero señaló que si dentro de un recinto hubiera un defecto, por ejemplo un poro, inclusión o pizca de substancia extraña aparecería asociada con él una gran energía magnetostática, excepto si se formaran rodeándolo pequeños recintos de cierre. Tales sistemas fueron fotografiados primeramente por Williams [13] con la técnica del polvo. La Fig. 10 muestra dos, uno a cada lado del límite de 180° que baja por el centro de la imagen. Este límite está ligeramente ondulado, lo que sugiere la existencia de varios defectos pequeños a los que está asociado. Los recintos internos tienen forma de L y se deberán a estructuras elipsoidales, magnetizadas perpendicularmente al recinto principal, que tienen intersecciones triangulares con la superficie.

D. H. Martin [14] ha obtenido interesantes series de fotografías haciendo mover límites de 90° y de 180° a través de inclusiones, gracias a un campo magnético. Pero antes de la descripción de tales figuras es útil discutir un fenómeno cuya importancia se ha reconocido recientemente [6, 15]. En la Fig. 11 se ven dos límites de 180°. A la izquierda del límite cercano al centro hay una inclusión de la que parte un recinto de cierre, o «clavo» de Néel apuntando arriba a la izquierda. Entre ambos límites de 180° hay otro «clavo» algo deformado procedente de una inclusión. Pero además de los clavos se observa que ambas inclusiones están ligadas a los límites de 180° por tubos. Hoy se cree que tales tubos tienen participación importante en los fenómenos de histéresis. A medida que el límite se aleja de una inclusión, el tubo llega a una longitud crítica y se aplasta formando un clavo. Del mismo modo, cuando un límite se acerca a un clavo corto éste se alarga y se une al límite. Tal fenómeno se conoce como «extensión de los tubos» (*Schlauchziehen*) y está estudiándose en condiciones regulables.

En dichos estudios obtuvo P. M. Griffiths las fotografías de la Fig. 13(*a–f*) en las que puede seguirse la aproximación de un límite de 180° hacia un pequeño orificio formado en la superficie durante el pulido, su paso por él y su alejamiento. Según se mueve el límite de izquierda a derecha se nota el aplastamiento de los tubos ligados al límite, su casi completa desaparición cuando el límite cruza el orificio y su formación de nuevo cuando se aleja el límite; por último se ve que el tubo superior de (*f*) se ha aplastado para formar un clavo. La Fig. 13(*c*) da buena idea de un sistema de recinto de cierre muy localizado formado cuando el plano del límite corta a la inclusión. Es evidente que tales procesos no pueden ser reversibles; no obstante deben abundar dentro de los materiales policristalinos, y su formación y desvanecimiento irán acompañados de cambios térmicos debidos a microcorrientes parásitas [16].

Es oportuno preguntarse qué ocurre cuando se magnetiza una muestra casi a saturación en un campo intenso, de forma que constituya sólo un gran recinto, y se anula luego lentamente el campo. ¿Por qué no dura la configuración de un solo recinto? En el caso más sencillo, el de una superficie (100) de hierro-silicio magnetizado a saturación según una arista del cubo, Martin [16] ha mostrado la extraordinaria importancia de las imperfecciones, inclusiones y defectos artificiales, mostrando que de tales centros surgen recintos de magnetización inversa como el citado respecto a la Fig. 8. Una vez formados estos recintos, requieren solamente una pequeña variación en el campo para cubrir toda la superficie.

NUEVAS DISTRIBUCIONES DE ESPECIAL SIGNIFICADO

Para ver hasta qué punto las distribuciones en las superficies policristalinas se asemejaban a las de las superficies de los monocristales, A. Hart [17] ha hecho un estudio especial en muestras de hierro de gránulos orientados en las que los planos de intersección de muchos de los gránulos en una superficie laminar se aproximaban a un plano (110). Fueron observadas distribuciones que

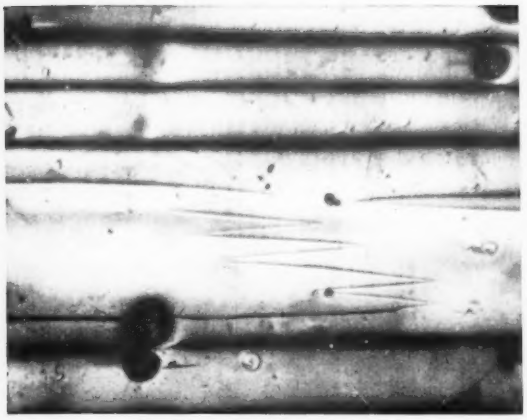


FIGURA 3 – *Distribución en la cara* (10$\bar{1}$0) *de un monocristal de cobalto sin magnetizar.* (× 110)

FIGURA 4 – *Cobalto, sin magnetizar. Superficie* (1010) *con un débil campo perpendicular.* (× 125)

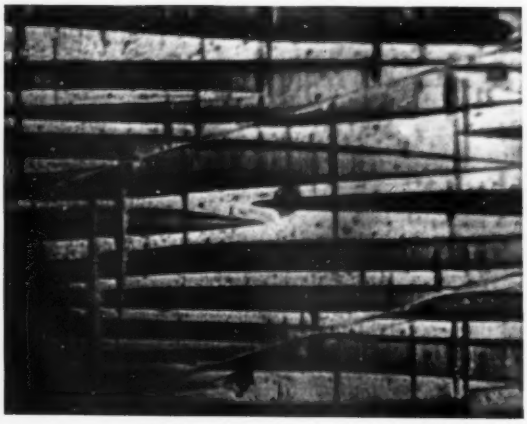


FIGURA 5 – *Cobalto, sin magnetizar. Superficie* (10$\bar{1}$0) *como en Fig.* 4 *pero con el campo invertido.* (× 125)

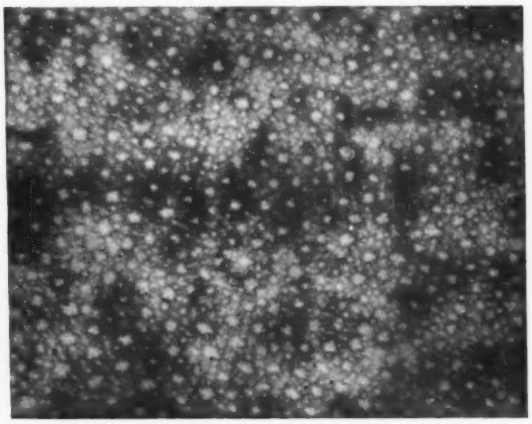


FIGURA 6 – *Distribución en el plano basal de un cristal de cobalto, sin magnetizar.* (× 110)

FIGURA 7 – *Distribución en «abeto» en una superficie aproximadamente* (100), *de hierro-silicio, sin magnetizar.* (× 180)

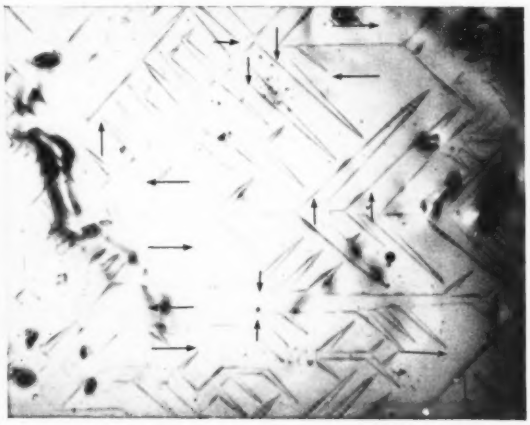


FIGURA 8 – *«Abetos» y un recinto de magnetización inversa, en una cara casi* (100) *de hierro-silicio; un pequeño campo actúa sobre el cristal casi desmagnetizado.* (× 80)

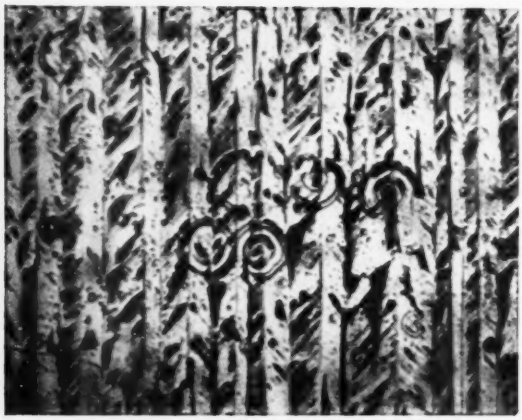


FIGURA 9 – *Líneas en un cristal de hierro con silicio tallado según Néel. El campo actúa paralelamente al sentido* [011], *o sea, perpendicular a las líneas del coloide.* (× 125)

FIGURA 10 – *Estructuras de recintos de cierre en una superficie* (100) *de hierro-silicio. Un límite de* 180° *cruza de arriba a abajo por el centro.* (× 200)

FIGURA 11 – *«Clavos» de Neél y tubos relacionados con una inclusión y un límite de* 180°, *en una superficie* (100) *de hierro-silicio.* (× 90)

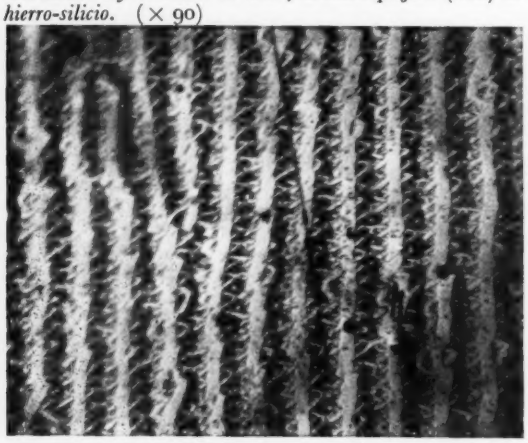


FIGURA 12(*a*) – *Distribución en «encaje» en la superficie* (110) *de hierro-silicio.* (× 115)

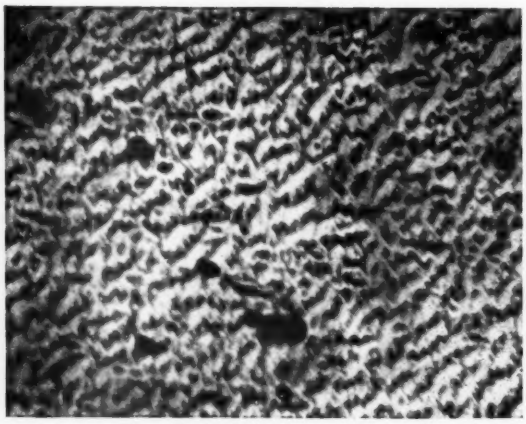


FIGURA 12(*b*) – *Distribución en «encaje» en la superficie* (110) *de una muestra delgada de hierro-silicio.* (× 125)

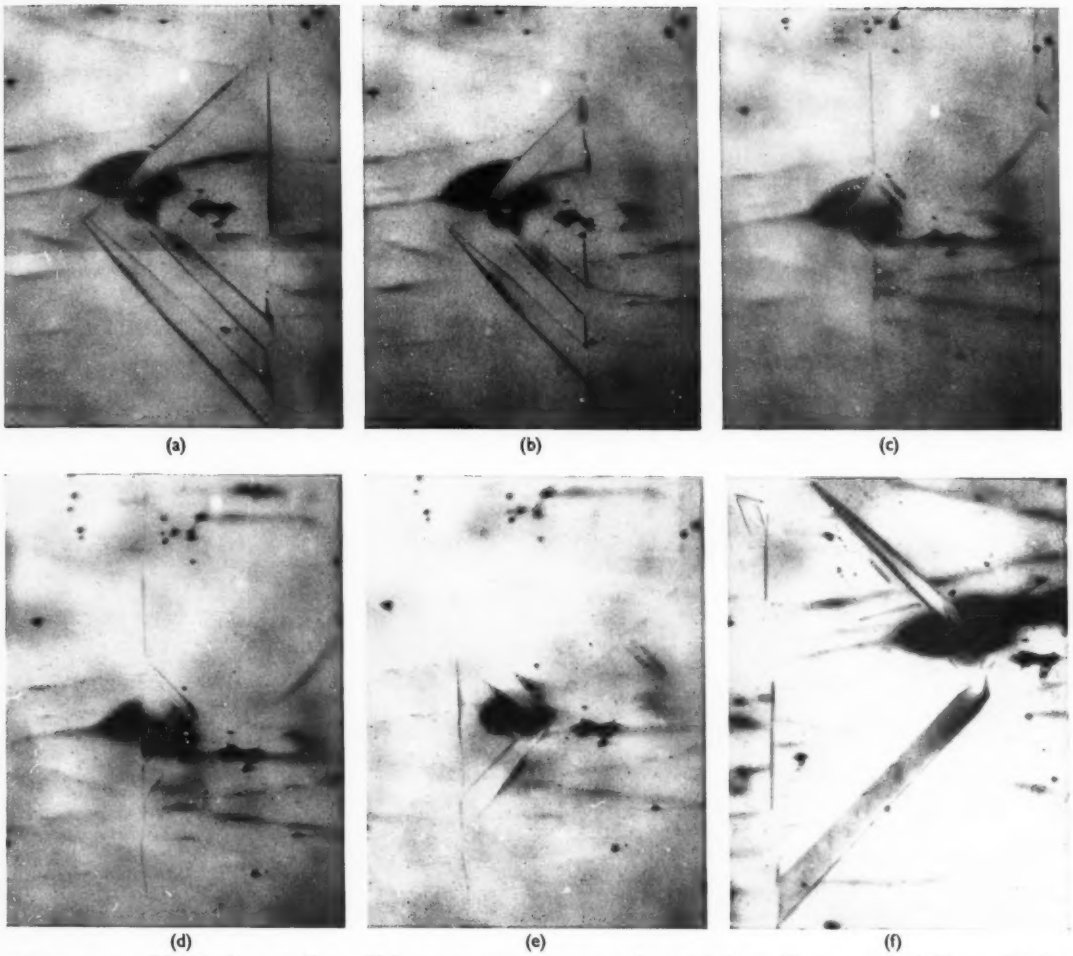


FIGURA 13 – *Distribuciones en hierro-silicio que muestran el paso de un límite de* 180° *a través de un pequeño hoyo en la superficie del cristal. El límite va de derecha a izquierda, comenzando en* (a) *hasta* (f). (× 250) (*Nótense distribuciones arborescentes en torno al hoyo en* (c).)

FIGURA 14(*a*) – *Distribución en «renacuajo» sobre una superficie aproximadamente* (110) *de un gránulo policristalino de hierro-silicio. Hay un límite del gránulo a la derecha.* (× 100)

FIGURA 14(*b*) – *«Renacuajos» y «losanges» en un plano aproximadamente* (110) *de hierro-silicio y con un campo pequeño aplicado según la dirección* [110]. (× *ca.* 100)

FIGURA 15 – *Estructura en escalera observada en una superficie* (100) *de una pieza rectangular de cristal de hierro-silicio. El extremo de la pieza está a la izquierda de la fotografía.* (× 90)

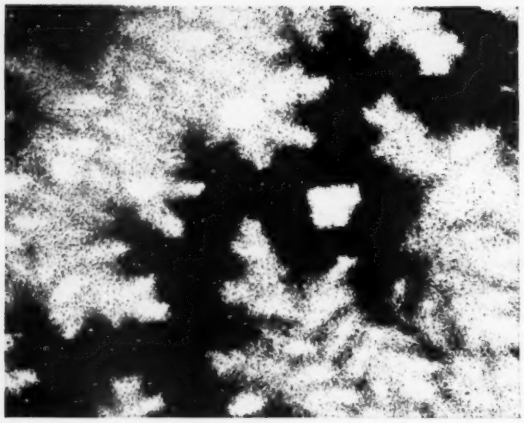


FIGURA 16 – *Detalle de la distribución en el plano basal del cobalto.* (× 7800)

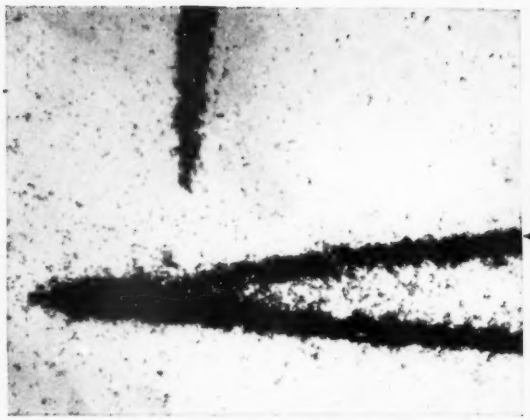


FIGURA 17 – *Punta de un recinto de cierre en daga en cobalto. En la parte superior, un arañazo.* (× 5900)

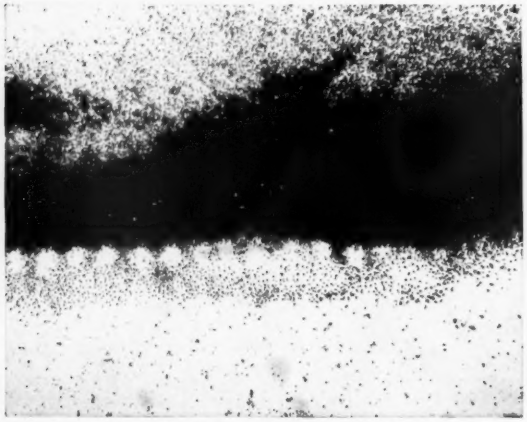


FIGURA 18 – *Un arañazo en la superficie del cobalto.* (× 5000)

FIGURA 19 – *Distribución en una superficie de cobalto forzada.* (× 5900)

FIGURA 20 – *Distribución en un gránulo de ferrita de bario (Magnadur).* (× 5000)

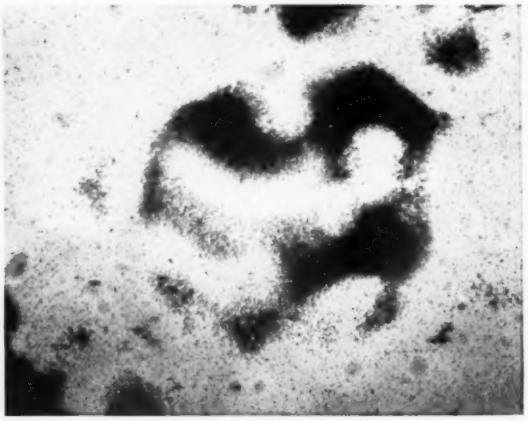


FIGURA 21 – *Distribución en el plano basal de un gránulo aplanado de ferrita de bario.* (× 5900)

coincidían virtualmente con las distribuciones en encaje vistas anteriormente en la superficie (110) de una muestra cortada según Néel. Durante este estudio fueron observadas por vez primera algunas distribuciones en forma de «renacuajos». Aparecían siempre cerca del borde de un gránulo y de ello se dedujo que eran un tipo especial de estructura de cierre cubriendo un recinto más elemental, y que las cabezas de los renacuajos eran prueba de campos de dispersión muy localizados. Ahora se cree que están formados por intersección con la superficie de un gran recinto interno «clavo» de Néel y puede darse una explicación satisfactoria de su formación.

Davis [18] ha logrado más detalles sobre tales estructuras con muestras de hierro-silicio de gránulos gruesos y cuya superficie era aproximadamente el plano (110). Paxton y Nilan [19] han visto distribuciones en forma de rombo cuando una superficie delgada se inclina entre 4° y 7° con respecto al plano exacto (110), sin magnetizar o sólo débilmente. En la Fig. 14(*a*) se ven numerosos «renacuajos» y en la Fig. 14(*b*) losanges o rombos. Se supone que los losanges se forman por la intersección con la superficie de los recintos de magnetización inversa situados en los recintos principales, los cuales en las muestras delgadas están colocados en capas casi paralelas a la superficie, magnetizadas alternativamente en sentidos opuestos esto es, paralelos a los sentidos [001] y [00$\bar{1}$]. Los rombos son por ello perpendiculares al sentido [110]; los renacuajos aislados se sitúan paralelos al sentido [111]. Shur mostró en una conferencia internacional habida en Moscú en 1956 fotografías de distribuciones en rombo [23] conseguidas con láminas de hierro-silicio de 6 a 50 μ de espesor, e insistió en que aunque el material se saturara, los losanges no desaparecían por entero. Esto significaría que siempre existen núcleos para recintos de magnetización inversa.

Martin encontró que con una muestra en bloque rectangular de hierro-silicio de caras en un plano (100), cortada de modo que un extremo del bloque acabe en una superficie (111), se obtiene una distribución en «escalera» con estructura sumamente fina, en la superficie (100) cuando está desmagnetizada. La Fig. 22 indica cómo se formaría tal distribución, de la que la Fig. 15 es una excelente fotografía. Martin [20] se ha basado en este modelo para calcular el tamaño óptimo del recinto y su relación con las dimensiones del cristal, encontrando que para una muestra en bloque de sección rectangular con los planos (111) en *ambos* extremos, es casi la misma que para una muestra semejante que termine por ambos extremos en caras (010), y que incluso si los recintos de 180° se cambian por recintos de 90° la variación de energía en juego es muy pequeña. Esta notable conclusión puede influir en nuestras nociones acerca de los procesos de magnetización.

ESTUDIOS CON EL MICROSCOPIO ELECTRONICO

D. J. Craik [21] ha ideado recientemente una técnica nueva que parece tener grandes posibilidades, al preparar una réplica de la distribución de un recinto, en forma de una capa fina que se puede separar de la superficie metálica para estudiarla con un microscopio electrónico u ordinario. Para ello se prepara magnetita coloidal según las indicaciones de Elmore, en suspensión tan fina que

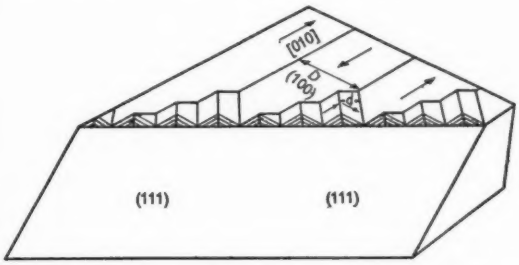


FIGURA 22 – *Modelo para ilustrar las distribuciones en escalera en un plano* (100) *de hierro-silicio.*

pueda pasar por un papel de filtro de gran retención. Al filtrado se añade 0,1% de éter metílico de celulosa comercial («Celacol») y se dializa cualquier acidez libre con agua destilada. Cuando se seca una gota de esta suspensión forma una capa amorfa de algunos centenares de Å de espesor.

Sobre la superficie metálica bajo estudio se deposita una capa fina de resina Formvar de unos 200 Å; si es necesario, se puede proteger contra la oxidación depositando previamente una fina capa de cuarzo por evaporación en vacío. Sobre la resina se pone suficiente coloide para tener un espesor de 500 Å. Se forma la distribución de Bitter y se deja secar el coloide allí mismo. La capa se desprende poniendo encima unas gotas de una solución espesa de colodión en acetato de amilo y, cuando se seca, pueden quitarse ambas juntas. Se obtiene así una réplica permanente. Las partes elegidas de ésta se ponen luego, con la superficie de colodión hacia abajo, sobre las rejillas de cobre ordinariamente utilizadas en microscopía electrónica que, a su vez, se ponen sobre tiras curvas de rejilla de acero inoxidable bajo las

cuales puede introducirse acetato de amilo para disolver el colodión.

Las Figs. 16–20 muestran gráficamente la excelencia de esta nueva técnica. La Fig. 16, que puede compararse con la Fig. 6, representa algunos de los detalles finos en la distribución de polvo que se obtiene en el plano basal de un cristal de cobalto cuando está desmagnetizado. La Fig. 17 es la réplica de la parte superior de un recinto de cierre en daga, o recinto de magnetización inversa, que está horizontal, con un arañazo en la parte superior de la fotografía. En la Fig. 18 se ve un ejemplo mejor de fotografía de un arañazo. El borde inferior está festoneado con depósitos menudos hexagonales característicos del cobalto forzado; la Fig. 19 reproduce otra distribución forzada.

Es de interés la aplicación de ésta técnica nueva al estudio de materiales cuyas características de recintos son mucho menos conocidas que las de los de cobalto. Ya se ha comenzado, y en la Fig. 20 se ve la distribución típica de un recinto copiado en un gránulo grande de ferrita de bario (Magnadur). La partícula es de unas 5 μ de espesor; hacia la derecha está un límite del gránulo y el eje hexagonal del cristal es casi vertical al plano de la fotografía. Los límites del recinto distan aproximadamente 1 μ.

Cuando las partículas son tan pequeñas que en ellas no caben los límites del recinto, ocurre que su magnetización puede ser invertida sólamente por un difícil proceso de rotación, lo que significa una coercitividad muy grande. En la Fig. 21 se ve la distribución en el plano basal de un gránulo aplanado de ferrita de bario de 5 μ, obtenida al estudiar las distribuciones en gránulos de dimensiones próximas a la crítica por bajo de la cual son imposibles los límites del recinto.

CONCLUSION

La exposición anterior no es completa por falta de espacio. Por ejemplo no se han mencionado las distribuciones en níquel, cuyo estudio es difícil debido a que el cristal de caras centradas tiene ocho direcciones de magnetización preferente que son las [111], y porque sus propiedades están muy influidas por las tensiones; sin embargo, algunos investigadores japoneses [22] han conseguido magníficas fotografías. Tampoco se alude a las distribuciones laberínticas que se ven en superficies en las que la capa de Beilby ha sido parcialmente eliminada por electrólisis, y cuyo estudio ha proporcionado recientemente más conocimientos acerca de los recintos de cierre [23]. No se describen algunos elegantes y fundamentales experimentos hechos con láminas policristalinas de Perminvar [24], aunque con ellos se ha visto cómo un solo límite de recinto puede tener un trayecto cerrado en una superficie de un aro del material. También se han omitido los experimentos con los materiales para imanes permanentes [12]. Creemos haber escrito lo suficiente para probar que la técnica de las distribuciones de Bitter ha permitido afianzar la exactitud del concepto de recinto y obtener muchas informaciones nuevas respecto a procesos magnéticos importantes previamente ignorados.

El autor desea manifestar su agradecimiento a todos cuantos colaboraron con él en éstas investigaciones y en la obtención de las fotografías aquí publicadas. La Fig. 14(*b*) se debe al Dr. A. Hart; las 16–21 a D. J. Craik; las demás fueron tomadas por P. F. Davis y P. M. Griffiths.

REFERENCIAS

[1] Bates, L. F. y Mee, C. D. *J. sci. Instrum.*, **27**, 317, 1950.
[2] Bitter, F. *Phys. Rev.*, **38**, 1903, 1931.
[3] Elmore, W. C. *Ibid.*, **54**, 309, 1938.
[4] Bozorth, R. M. *Ferromagnetism*, pág. 533. Macmillan & Co. Ltd., Londres. 1951.
[5] Williams, H. J., Bozorth, R. M. y Shockley, W. *Phys. Rev.*, **75**, 155, 1948.
[6] Williams, H. J. y Shockley, W. *Ibid.*, **75**, 178, 1948.
[7] Néel, L. *J. Phys. Radium*, **5**, 325, 1944.
Lifshitz, E. *J. Phys., Moscow*, **8**, 337, 1944.
Kittel, C. *Solid State Physics*, Vol. III, Academic Press, Nueva York, 1956.
[8] Bates, L. F. y Neale, F. E. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **63**, 374, 1950.
[9] Bates, L. F. y Mee, C. D. *Ibid.*, *A*, **65**, 129, 1952.
[10] Bates, L. F. y Hart, A. *Ibid.*, *A*, **66**, 813, 1953.
[11] Bates, L. F. *Modern Magnetism*. University Press, Cambridge. 1951.
[12] *Idem. Research*, **8**, 462, 1955.
[13] Williams, H. J. *Phys. Rev.*, **71**, 646, 1947.
[14] Bates, L. F. *J. Inst. Met.*, **82**, 417, 1954.
[15] Brenner, R. *Z. angew. Phys.*, **8**, 391, 1953.
[16] Bates, L. F. y Martin, D. H. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **66**, 162, 1953; *A*, **69**, 145, 1956.
[17] Bates, L. F. y Hart, A. *Ibid.*, *A*, **66**, 813, 1953.
[18] Bates, L. F. y Davis, P. F., *Ibid.*, *B*, **69**, 1109, 1956.
[19] Paxton, W. S. y Nilan, T. G. *J. appl. Phys.*, **26**, 994, 1955.
[20] Martin, D. H. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 77, 1957.
[21] Craik, D. J. *Ibid.*, *B*, **69**, 647, 1956.
[22] Chikazumi, S. y Suzuki, K. *J. phys. Soc. Japan*, **10**, 523, 1955.
Stephan, W. *Exp. Tech. Phys.*, **4**, 153, 1956.
Informe sobre la Conferencia Internacional sobre Magnetismo (Moscú, 1956) que publicará la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.
[23] Williams, H. J. y Goertz, M. *J. appl. Phys.*, **23**, 316, 1952.

El ácido gibberélico

P. W. BRIAN y JOHN FREDERICK GROVE

Aún cuando desde hace unos 30 años se conociese el sorprendente efecto que uno de los productos metabólicos del hongo *Gibberella fujikuroi* tiene sobre el desarrollo de las plantas, sólo en fecha reciente se ha entrado en su minuciosa investigación. Esta ha fijado las principales características químicas de su más importante substancia biológicamente activa, aclarando los principales efectos sobre el crecimiento de las plantas. Pero aún cuando tan sorprendentes propiedades del ácido gibberélico hayan despertado gran interés respecto a su aplicación práctica en la agricultura, todavía no se han resuelto los problemas que la misma plantea.

INTRODUCCION

En todos los países productores de arroz se ha registrado una enfermedad de la planta cuya causa es el hongo *Gibberella fujikuroi* (en estado conidial: *Fusarium moniliforme*). En su conjunto, los síntomas de tal enfermedad no se diferencian gran cosa de otras enfermedades producidas por *Fusarium*; el hongo penetra por las raíces y por la base del tallo, causando una necrosis local; al extenderse por los tejidos del hospedante, el sistema vascular del vástago se vuelve pardo y la planta se agosta, muriendo muchas de las plántulas infectadas. Existe un síntoma temprano típico: el tallo y las hojas de algunas plántulas infectadas se alargan con mayor rapidez que en las plantas sanas, de forma que los campos infectados presentan el aspecto de un sembrado mixto de variedades cortas y largas de arroz. Esta enfermedad, a la que se ha prestado gran atención en Japón y Formosa, es conocida allí por «bakanae».

El fitopatólogo japonés E. Kurosawa [1] hizo hace 30 años un importante descubrimiento: que los filtrados libres de células que se obtenían de cultivos puros de *G. fujikuroi* en medios sintéticos producían al aplicarse a las plántulas los síntomas de alargamiento característicos de esta enfermedad. Parecía evidente, por tanto, que el causante de este notable crecimiento era un producto metabólico del hongo que se producía al crecer en la planta o en un medio de cultivo.

Se continuaron estas observaciones en el Japón, descubriéndose pronto que también otras especies de plantas respondían con un extra-crecimiento. Los efectos observados se reducían al crecimiento del vástago, sin que afectase al crecimiento de la raíz; a lo más, lo retrasaba casi imperceptiblemente. Las condiciones de producción de la substancia activa se estudiaron empleando un método biológico un tanto tosco con las plántulas de arroz. Se efectuaron al mismo tiempo trabajos de extracción y purificación del principio activo, hallándose que podía adsorberse con carbón animal o vegetal y liberarse con ciertos disolventes orgánicos. En 1939 se obtuvo, por fin, una substancia cristalina con rendimientos de 10 mg apr. por litro de medio de cultivo, que, al aplicarse a las raíces de las plántulas en concentraciones de unas unidades por millón, estimulaba el crecimiento. A esta substancia se denominó gibberelina A [2]. En el Japón se publicaron posteriores trabajos sobre la química de la gibberelina A y sus propiedades fisiológicas, sin que llegase a conocimiento de Europa y América hasta años después de su publicación, a causa de la guerra.

En tiempos recientes ha aumentado el interés en los productos metabólicos del *Gibberella fujikuroi* que fomentan el crecimiento, y de este mayor interés proviene el descubrimiento de tres substancias activas interrelacionadas, cada una de ellas de actividad fisiológica similar: gibberelina A_1, gibberelina A_2 y ácido gibberélico [3]. Este se obtuvo aislado en forma pura por primera vez en Inglaterra y en los Estados Unidos, más o menos simultáneamente. Hoy, el ácido gibberélico puede producirse con mayores rendimientos que la gibberelina A_1 o A_2, habiéndose llevado a cabo una labor más fructífera y detallada en lo que respecta a su química, actividad fisiológica y posibilidad de utilización práctica de lo que hubiera sido posible con la original gibberelina A. El presente artículo se ocupa en especial de estos recientes trabajos.

PRODUCCION DE GIBBERELINAS Y ACIDO GIBBERELICO

El primitivo método japonés de producción se basaba en el cultivo superficial del *Gibberella fujikuroi* en medio líquido. No se publicó la composición exacta de estos medios, pero parece que consistían en simples medios de glucosa y sales o glicerina y sales, empleando cloruro amónico como

fuente de nitrógeno. Los cultivos se incubaban de 30 a 45 días a 25°C. El material activo se aislaba de los filtrados de dichos cultivos por un procedimiento más bien complicado. El procedimiento fundamental era la adsorción del material activo sobre carbón, del cual se liberaba por medio de metanol y amoníaco. A ello seguía un procedimiento de purificación en diversas etapas, obteniéndose así rendimientos de 10 mg por litro de «cristales de gibberelina en bruto» [4].

El desarrollo de técnicas de fermentación profunda por agitación y aireación para la producción de antibióticos sugirió su aplicación para la obtención del ácido gibberélico. Los científicos japoneses, por el procedimiento de fermentación en una etapa y usando el mismo medio de cultivo que el empleado para cultivos de superficie, obtuvieron rendimientos que no pasaban de los 8 mg por litro en una fermentación de 96 horas a 27° C. Por el procedimiento de fermentación en tres etapas con un medio de glucosa y sales de un 1,5 a 2,0%, un grupo norteamericano consiguió rendimientos de 17 mg por litro de gibberelina A y gibberelina X (ácido gibberélico) mezclados, en una fermentación de una duración total de 95 horas a 25° C [3, 5].

Un grupo inglés [6] ha logrado rendimientos de ácido gibberélico que alcanzan los 200 mg por litro, empleando una fermentación por agitación, en una sola etapa. Aunque usaron una estirpe de moho distinta, es muy verosímil que un cambio en las condiciones de fermentación sea la razón principal que explique este acrecentado rendimiento. Estos cambios implican: (*a*) empleo de un medio más rico en azúcar (4% de glucosa o sacarosa); (*b*) empleo de mayor lapso de tiempo en la fermentación, obteniéndose los máximos rendimientos a los 18 días a 25° C. Estos investigadores observaron que aunque los medios de glicerina mantienen un alto crecimiento, eran inferiores a los de sacarosa o glucosa como fuentes carbonígenas en la producción del ácido gibberélico. El método de extracción era algo más simple que el japonés, aunque similar en esencia. El ácido gibberélico se separaba de los filtrados de cultivo adsorbiéndole sobre carbón, del que se extraía con acetona acuosa.

EFECTOS DEL ACIDO GIBBERELICO EN EL CRECIMIENTO EN SUPERFICIE DE LAS PLANTAS

Crecimiento del vástago. La forma en que se aplica el ácido gibberélico no tiene importancia. Se obtienen reacciones esencialmente similares si se rocía con él el vástago en su totalidad, si se aplica a cualquiera de las hojas en una microgota de agua o alcohol, o si se tratan con él las raíces poniendo ácido gibberélico en el suelo o solución de cultivo. El aplicar microgotas a las hojas resulta conveniente cuando se trata de estudios cuantitativos.

Los tipos de crecimiento pueden describirse mejor por referencia a algunos ejemplos. Las plántulas del trigo aumentan en altura (Fig. 2). Esto se debe al aumento de longitud de los internódulos del tallo y de las hojas. Las hojas pueden alcanzar una longitud mayor en un 50% a las de las plantas no tratadas; pero son algo más estrechas y generalmente de color más pálido. Esta clorosis resulta más marcada en las plantas que crecen en suelos o soluciones de cultivo con escaso valor nutritivo. Si no hay carencia de substancias nutritivas minerales, la reducción en la intensidad de colorido es transitoria. Los datos cuantitativos que se han publicado [7] se refieren a la aplicación de ácido gibberélico a las raíces; en estos experimentos puede descubrirse un cierto efecto cuando el ácido gibberélico forma parte de la substancia nutritiva en un 0,1 μg por cm^3, produciéndose un efecto máximo con 1–10 μg por cm^3. En los experimentos en que las plantas de trigo se rocían semanalmente con ácido gibberélico (100 μg por cm^3) hasta su madurez, la altura de los tallos en flor aumenta en un 25%. No obstante, se producen menos espigas, debido a la reducción en un 25% en el número total de brotes producidos.

El crecimiento de las variedades enanas de guisante de huerta (*Pisum sativum*) se estimula grandemente con ácido gibberélico. La longitud de los internódulos del tallo aumenta en un 200 a 400%. Los peciolos de las hojas aumentan en longitud en igual proporción; pero el tamaño de la hoja no resulta tan afectado como en el trigo y otros cereales. Aun cuando las plantas que se tratan tengan color algo más pálido que el corriente, este efecto es menos notorio que en los cereales. Existen datos cuantitativos del guisante enano señalando la relación entre dosis y reacción [8]. Con una dosis de 0,01 μg por planta se produce un efecto apreciable; por encima de ese nivel, la reacción tiene una relación lineal con el logaritmo de la dosis entre los límites 0,01 y 0,1 μg (Fig. 1). La reacción a una dosis aislada es temporal. El crecimiento se acelera inmediatamente después de su aplicación; la cantidad de la dosis aplicada no influye en gran manera en la velocidad de crecimiento recién establecido, aunque sí influya el tiempo durante el cual se mantiene

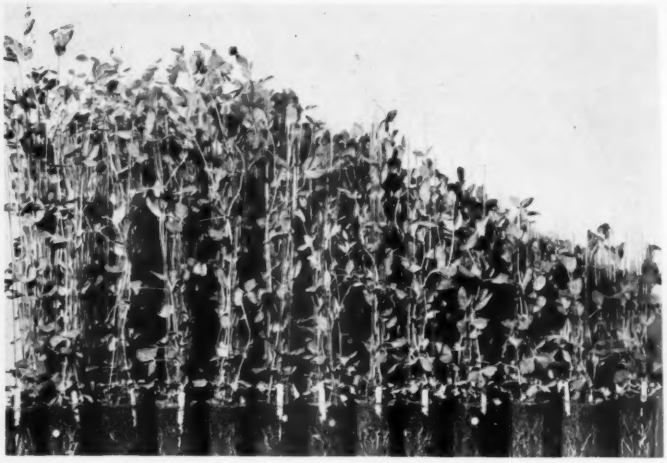


FIGURA 1 – *Plántulas del guisante «Meteoro», 26 días después de la aplicación del ácido gibberélico (AG). De derecha a izquierda: N°s 1 y 2 sin tratar; N° 3 recibió 0,01 μg de AG. A continuación las dosis se duplicaron hasta el N° 13, último a la izquierda, que recibió 10,24 μg de AG* [8].

FIGURA 2 (*derecha*) – *Plántulas de trigo cultivadas en una solución Pfeffer (izquierda), y (derecha) en una solución similar con 2 μg/cm³ de ácido gibberélico.*

este crecimiento acelerado. Pasado cierto tiempo, la velocidad de crecimiento disminuye paulatinamente hasta acercase al de las plantas no tratadas (Fig. 3). Para mantener una velocidad de crecimiento en aumento durante el ciclo vital de la planta es preciso aplicar ácido gibberélico a muy cortos intervalos. En un experimento en que las plantas del guisante enano recibían dosis semanales de 1 μg de ácido gibberélico, la altura final aumentó un 50%, pero el número total de internódulos del tallo no sufrió variación [9]. El efecto del ácido gibberélico en el guisante consiste por tanto en aumentar la altura tan sólo por aumento de la longitud de los internódulos. Este aumento se debe casi exclusivamente al alargamiento celular, sin que existan claras pruebas de un aumento en la multiplicación celular.

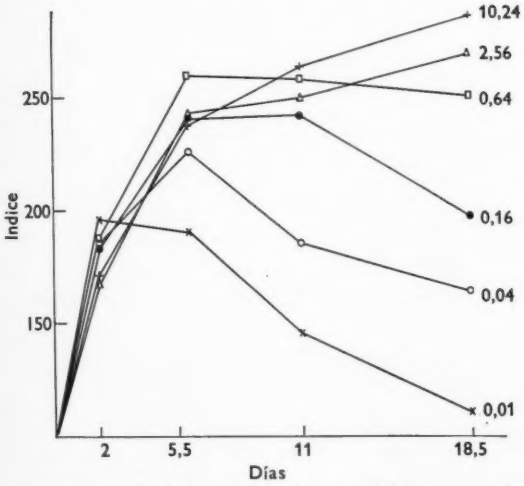
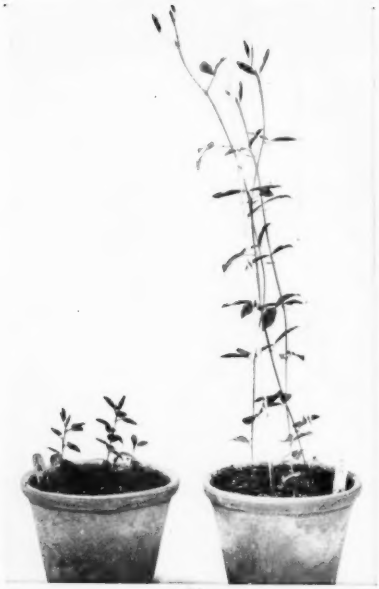


FIGURA 3 – *Crecimiento de los guisantes «Meteoro» tratados con ácido gibberélico expresado como porcentaje de las plantas no tratadas. Las dosis de AG (μg) están indicadas a la derecha* [8].

Los efectos del ácido gibberélico en el guisante dulce (*Lathyrus odoratus*) (Fig. 4) difieren en varios respectos de los que acabamos de describir. El guisante dulce es una especie extraordinariamente enana, con tendencia al achaparramiento, y con hojas menores y más oscuras que los más corrientes guisantes trepadores. En su primer crecimiento, cuando el eje principal alcanza unos 15 cm de altura, se interrumpe normalmente el desarrollo de este eje y algunas de las yemas laterales se convierten en ramas que pueden alcanzar la misma longitud que el eje principal, originándose de esta forma la tendencia a formar matas. Al aplicársele una dosis semanal de 1 μg de ácido gibberélico se altera por completo esta tendencia de la planta. En un experimento en que se trataron de este modo plántulas de 3 cm de altura, el crecimiento del eje principal se aceleró mucho; tres semanas más tarde las plantas sin tratar medían 7 cm de altura, y las plantas tratadas 42 cm. Al llegar a este punto las ramas laterales se desarrollaron

(a)



(b)

FIGURA 4 – *Efecto sobre el crecimiento del guisante dulce* (L. odoratus) *de dosis de* 1 μg *de ácido gibberélico semanal:* (a) 2 *semanas;* (b) 3 *semanas;* (c) *y* (d) 4 *semanas;* (e) 7 *semanas después del primer tratamiento. El efecto sobre la forma de las hojas se aprecia más claramente en* (d). *Las plantas tratadas con ácido gibberélico son las de la derecha en* (a) *y* (b) *y las de la izquierda en* (c), (d) *y* (e).

(c)

(d)

(e)

TABLA I

Efecto medio de dosis semanales de 1 μg *de ácido gibberélico sobre el crecimiento del guisante dulce* (L. odoratus). (*Medidas tomadas después de 7 semanas de crecimiento*)

Tratamiento	Altura (cm)	Número de internódulos en el eje principal y en todas las ramas	Número de internódulos en el eje principal	Número de ramas
Ninguno ..	12	83	14	6
1 μg semanal	122	82	43	4

rápidamente en las plantas no tratadas y con menor rapidez en las tratadas. El cuadro general de crecimiento a las siete semanas puede verse en la Tabla 1. Mientras que las plantas no tratadas han desarrollado seis ramas laterales, todas ellas de una longitud aproximadamente igual y con igual número de internódulos que el eje principal, el crecimiento de las plantas tratadas provenía predominantemente del eje central, que era unas diez veces más alto que el de las plantas sin tratar. El número total de los internódulos formados no ofrecía variación. Las hojuelas sufrían alteración en su color y forma, volviéndose verde pálido y lanceoladas, como suele suceder a los guisantes trepadores, en lugar de verde oscuro y ovaladas. Además, el área de la superficie de las hojas era de doble tamaño; este efecto en el área de las hojas es muy raro en las dicotiledóneas. El cambio en la tendencia de crecimiento para pasar de planta enana en mata a alta trepadora se ha observado igualmente en las habas enanas [7, 10].

Semejantes crecimientos en altura del vástago van acompañados a menudo de crecimientos de peso en seco y en verde. Por ejemplo, en experimentos realizados en pequeña escala con plantas que crecían en soluciones de cultivo que contenían ácido gibberélico, se han registrado crecimientos de 24% en peso seco de las plántulas del trigo y de 15% en las plántulas del guisante. Se han obtenido aumentos de más de un 40% en el peso en seco de la hierba recogida en campos rociados una sola vez con ácido gibberélico. La causa de este mayor rendimiento no se ha estudiado científicamente; pero parece probable que sea resultado secundario del aumento del área de la hoja y de otras superficies foto-sintetizantes. Los aumentos de peso se advierten solamente cuando los elementos nutritivos iniciales no son tan escasos como para limitar el desarrollo. Y aun cuando el peso de la planta en su conjunto no aumente, puede darse una redistribución, como la de raíz a vástago, de modo que el peso del vástago aumente, decreciendo el peso de la raíz. Esto se advierte en especial cuando existen deficiencias nutritivas [7, 10, 11].

Recientemente se han tratado con ácido gibberélico un mayor número de especies en experimentos de simple observación, y en el mayor número de los casos se han obtenido reacciones de la clase ya descrita. Con todo, existen plantas que no responden de ningún modo, y en otras las reacciones son pequeñas [10, 12].

Crecimiento de la raíz. El ácido gibberélico no estimula el crecimiento de la raíz en ninguna circunstancia conocida. Esto resulta sorprendente y nos sugiere que, contrariamente a lo que se venía suponiendo, la regulación del crecimiento del vástago y de las raíces es esencialmente diferente en algunos aspectos. El ácido gibberélico en concentraciones relativamente fuertes inhibe ligeramente el crecimiento de la raíz [8].

COMPARACION CON LAS AUXINAS

El aumento que en el crecimiento del vástago origina el ácido gibberélico debe atribuirse principalmente a una extensión celular. Ya sabemos que la extensión celular de las plantas se halla bajo el control de unas hormonas llamadas auxinas [13], la más conocida de las cuales es el ácido 3-indolilacético. Muchos bioensayos de la acción de las auxinas, en especial los tests de crecimiento rectilíneo por sección coleóptila, se basan en la capacidad de las auxinas para originar alargamientos celulares. Una comparación detallada de las propiedades fisiológicas del ácido gibberélico y del ácido indolilacético que resulta esencial para la comprensión de los efectos del primero, nos revela interesantes diferencias [9, 14, 15].

Una diferencia importante puede apreciarse en el efecto de las dos substancias en la extensión de las secciones coleóptilas descoloradas. El ácido indolilacético aumenta considerablemente la extensión de aquellas secciones en el período de observación de 24 horas. La relación entre el total de la extensión y el logaritmo de la dosis es aproximadamente lineal entre los límites 0,01 a 1,00 μg/cm³. El ácido gibberélico provoca, sin embargo, muy poca extensión, y la curva de reacción a la dosis se rebaja muy rápidamente. De modo similar, el ácido indolilacético origina una marcada

extensión de las secciones de los internódulos en los guisantes criados a la luz; pero no el ácido gibberélico. Se da así la extraña paradoja de que el ácido gibberélico origina grandes extensiones de tejido de crecimiento en las plantas del guisante o del trigo intactas, mientras el efecto del ácido indolilacético es pequeño, dándose el caso contrario con secciones obtenidas en las zonas en crecimiento de estas plantas.

Las auxinas, además de influir sobre la extensión celular, afectan también la división celular, estimulando la proliferación de las células en algunos tejidos. Por ejemplo, al tratar algunos esquejes con auxinas se acelera la iniciación de la raíz. El ácido gibberélico se comporta de modo diferente, pues hasta antagoniza los efectos de las auxinas en la iniciación de las raíces.

Si se secciona el punto vegetativo principal de una planta, una o más yemas laterales comienzan a crecer para ocupar aquel lugar. Y si se aplica una auxina a la punta decapitada del vástago principal se inhibe con ello el desarrollo de los laterales. El ácido gibberélico no produce este efecto; por el contrario, estimula el rápido desarrollo de los laterales. Pero en las plantas intactas en que el eje principal cesa de extenderse, desarrollándose por consiguiente los laterales, como en el caso anteriormente mencionado del guisante dulce, la aplicación de ácido gibberélico permite que se continúe el crecimiento del eje principal y que se inhiba la formación de los laterales.

Existen también otras diferencias de nota. Por ejemplo, las auxinas impiden la abscisión de la hoja; cosa que no hace el ácido gibberélico. Una dosis excesiva de auxina provoca una proliferación anormal de células en algunos tejidos; pero no el ácido gibberélico.

Todas estas sorprendentes diferencias entre el ácido gibberélico y las auxinas nos llevan a la conclusión lógica de que estas dos substancias actúan de manera diferente. Sin embargo, en condiciones apropiadas ambas provocan una extensión celular. Cabe la posibilidad de que al producir este efecto actúen de modo similar, pero en realidad, es probable que no suceda así. Se ha observado [16] que la extensión de secciones de los internódulos en crecimiento de los guisantes se estimula con las auxinas, aunque no con el ácido gibberélico, pero que en presencia del ácido indolilacético, el ácido gibberélico produce una extensión extra por encima y mayor de las producidas por concentraciones óptimas de auxina. Así que la actividad del ácido gibberélico depende de la presencia del ácido indolilacético. Y esto explica probablemente por qué produce una reacción en el conjunto de la planta, cuando hay un sistema intacto de sintetización auxínica, y en cambio produce a lo sumo una ligera reacción en las secciones desprovistas de auxina. En la actualidad, las pruebas parecen indicar que el efecto del ácido gibberélico en el crecimiento es en cierto modo distinto al de las auxinas, pero que los dos son complementarios.

OTROS EFECTOS FISIOLOGICOS DEL ACIDO GIBBERELICO

Hasta ahora hemos descrito los efectos del ácido gibberélico en el crecimiento vegetativo de plantas que no exigen condiciones específicas para su normal crecimiento y desarrollo. Pero muchas plantas se desarrollan normalmente sólo cuando se exponen a determinados estímulos en ocasiones apropiadas durante su ciclo vital. No sólo puede condicionarse así el crecimiento vegetativo, sino que puede quedar más afectada aún su floración.

Hay un grupo grande de plantas, que se pueden describir como «bienales que necesitan frío». En ellas están incluídas varias plantas de utilización doméstica como algunas especies de col, zanahoria, nabos y remolacha azucarera. Al comenzar la temporada de crecimiento en su *habitat* natural, estas plantas forman una roseta de hojas en su base, y el tallo axial crece muy poco. Al segundo año de crecimiento se desarrolla un tallo alargado del que nacen las flores. A menos que se expongan previamente las plantas durante un corto período a una baja temperatura, que puede variar de especie a especie, no se producen tallos ni flores. Este estímulo es normalmente una consecuencia de las condiciones invernales; pero si se aplica de modo artificial, aparece inmediatamente el tallo axial, aun a principios de la temporada de crecimiento. El mayor crecimiento del eje y la producción de flores está a menudo condicionada por la longitud del día. A. Lang [17] ha descrito algunos efectos del ácido gibberélico en el crecimiento y desarrollo del beleño común (*Hyoscyamus niger*), planta bienal que requiere frío y que precisa de días largos para un completo desarrollo floral. Halló que dosis bastante grandes, entre los 60 y los 300 µg por planta, originaban la formación de un tallo en las plantas que se encontraban en la fase de roseta, si se las mantenía a temperaturas muy por encima de aquéllas en que se produce normalmente tal desarrollo. Las plantas no tratadas permanecían en estado de roseta. Con todo, el efecto del ácido gibberélico era más marcado en las plantas que se exponían a una larga iluminación solar que en las que sufrían la iluminación de días cortos. En las

plantas que recibían la iluminación de días cortos, la dosis de 60 μg apenas producía ningún efecto; pero estimulaba claramente la extensión del tallo en las plantas bajo el sistema de días largos. Dosis mayores estimulaban la elongación del tallo aun en las plantas que crecían con iluminación de días cortos. Así que dosis relativamente pequeñas de ácido gibberélico parecen reemplazar por completo el estímulo de las temperaturas bajas; pero se requieren dosis mucho mayores para reemplazar las exigencias de larga iluminación para producir la extensión normal del tallo. También se han descrito los efectos diferenciales sobre el crecimiento de las plantas en días cortos y largos para dos especies anuales [18]. La hierba norteamericana *Galinsoga parviflora* responde al ácido gibberélico mayormente en los días largos, mientras que la cizaña del maíz (*Agrostemma Githago*) responde más en los días cortos.

Las plantas de *Hyoscyamus* tratadas con ácido gibberélico en días largos florecían normalmente; las que crecían en días cortos no llegaban a florecer, a pesar de la producción de un tallo. De manera que entre las condiciones normalmente necesarias para la inducción de la flor, el ácido gibberélico reemplaza el tratamiento en frío, pero no los días largos. Y este resultado es muy significativo por dos razones: primero, hace posible lograr una clara distinción entre la elongación del tallo y la floración; segundo, constituye el primer caso, con una excepción, de la inducción química de la floración en condiciones ambientales estrictamente opuestas. La excepción es la del ananás, cuya floración puede fomentarse con auxina [13]; pero esta planta en lo que a la floración se refiere es anómala en muchos respectos.

El ácido gibberélico interrumpe también el letargo de algunas semillas y tubérculos. Provoca, por ejemplo, la floración de tubérculos inactivos de la patata y la germinación de las semillas inactivas de la lechuga, que normalmente no germinan si no se las expone a la luz roja [14, 19]. Las auxinas no interrumpen el letargo; pero el ácido gibberélico no es tampoco el único que lo hace. Efectos similares producen en ocasiones los hidratos de carbono no saturados, la etilenocloridrina, y ciertos compuestos de azufre como la tiourea y el glutatión. Parece muy poco probable que el mecanismo de acción sea el mismo para todos estos tipos de compuestos.

El ácido gibberélico parece influir en muchos procesos fisiológicos, además del crecimiento en extensión, pero hasta ahora los experimentos llevados a cabo no son suficientes para que podamos asegurar que algunos de esos efectos son generales o si constituyen meras anomalías individuales.

¿ES EL ACIDO GIBBERELICO UNA HORMONA NATURAL DE LAS PLANTAS?

La extensión del tallo, la floración, la interrupción del letargo de semillas y tubérculos no constituyen procesos fisiológicos relacionados de modo patente; sin embargo, en algunas especies de plantas el ácido gibberélico es por lo menos estimulante de todas ellas. Es extraordinario que un producto metabólico de un hongo, producido, por lo que hasta el presente se conoce, por una sola especie de hongo, intervenga en tantos aspectos del crecimiento y desarrollo de la planta. Es extraordinario también que ninguno de sus efectos constituyan anomalías, puesto que pueden inducirse en su mayoría por condiciones apropiadas de luz y temperatura en el ambiente de la planta. Si las propiedades fisiológicas del ácido gibberélico estuviesen relacionadas estructural o fisiológicamente con alguna hormona u hormonas de las plantas se comprenderían más fácilmente; existen pruebas de que esto sea así.

En primer lugar tenemos las pruebas genéticas. Ya se ha mencionado el efecto del ácido gibberélico en *L. odoratus*. Esta planta que proviene originariamente de un guisante dulce de la especie normal trepadora, por mutación recesiva de un solo gene, tiene hojas menores, internódulos más cortos y mayor tendencia a la ramificación que la especie trepadora. El tratamiento con ácido gibberélico altera la forma de crecimiento de manera que se aproxima a la del trepador; pero no influye en modo alguno en éste. Las variedades enanas de guisante de huerta muestran las mismas tendencias que los guisantes gigantes [8] al tratarlos con ácido gibberélico; pero a los gigantes les afecta poco el ácido gibberélico. En este caso nos encontramos también con que la planta enana es recesiva de la gigante, diferenciándose en un solo gene. Algunas mutaciones enanas del maíz, recesivas por un solo gene, adquieren las tendencias normales de la especie gigante después de haberlas tratado con ácido gibberélico [20], sin que las especies gigantes sean afectadas. En todos estos casos (y podrían citarse algunos más), la variedad enana recesiva tiende a adquirir las tendencias de crecimiento de las variedades gigantes de las que provenían originariamente por mutación, al tratarlas con ácido gibberélico. Tales ejemplos son perfectamente conocidos en la genética microbiana. Así, las esporas del moho *Neurospora* en un simple medio de glucosa y sales, al ser tratadas con rayos

X originan algunas colonias mutantes que ya no crecen normalmente en un medio de glucosa y sales, sino que necesitan además aneurina (vitamina B_1). Tales estirpes, denominadas «ananeurinas», son recesivas al tipo primitivo, diferenciándose de él en un solo gene. Bioquímicamente se diferencian del tipo primitivo en que, al contrario de éste, son incapaces de sintetizar aneurina en cantidad suficiente para mantener un crecimiento normal. Por analogía puede explicarse de modo razonable la reacción diferencial que presentan las variedades enanas y gigantes de las plantas ante el ácido gibberélico, aceptando que las enanas han perdido el poder de sintetizar alguna substancia de carácter hormonal, que puede ser reemplazada por el ácido gibberélico. Puede mencionarse de paso que ésta es quizás la primera noticia de que los efectos de una mutación en una planta mayor se puedan cambiar reversiblemente por administración de una substancia química específica.

En segundo lugar, existen pruebas bioquímicas más certeras. En 1951, antes de que el interés por las gibberelinas se extendiese más allá del Japón, se demostraron [21] que los extractos de éter de las semillas de las habas enanas sin madurar contenían substancias que estimulaban la elongación de los epicótilos de las plántulas de haba enana hasta un grado que superaba con mucho el que seguía al tratamiento con auxina. Luego se ha descubierto que aquellos extractos de semilla promueven el crecimiento de las mutaciones del maíz enano y del guisante enano igual que el ácido gibberélico. El principio activo se comporta en los cromatogramas como el ácido gibberélico [22]. Se han hallado substancias similares en los vástagos de las plántulas de guisante enano y gigante [23]. Todavía no se sabe si hay más de esta substancia en los vástagos del guisante enano que en los del gigante; pero si así se demostrara, se corroboraría notablemente la interpretación del enanismo como incapacidad para sintetizar suficientemente una «hormona tipo ácido gibberélico».

Aceptemos por el momento la existencia de tal hormona en las plantas. Así podremos considerar el crecimiento y otros aspectos del desarrollo como regulados por un equilibrio entre auxinas y hormona. Sabemos que el crecimiento, floración y letargo son fenómenos ligados de algún modo al metabolismo de las auxinas, sin que haya sido posible explicarlos tan sólo en estos términos, así como tampoco puede explicarse el enanismo tan sólo en virtud de la auxina [24]. Una mejor interpretación posible es suponer un sistema de interacción de dos clases de hormona de crecimiento, actuando posiblemente asociadas con sistemas inhibidores. Es interesante que estas nuevas posibilidades han surgido en gran parte como resultado

TABLA II

Diferencias en los rendimientos de peso en seco obtenidos con dos cortes de hierba de césped, después de aplicación de ácido gibberélico [11]

Fecha del tratamiento	Peso seco obtenido en el primer corte			Peso seco obtenido en el segundo corte		
	Control sin tratar (kg/ha)	Aumento (kg/ha) debido a 140 g/ha	Aumento como porcentaje del control	Control sin tratar (kg/ha)	Disminución (kg/ha) debida al tratamiento inicial de AG	Disminución como porcentaje del control
1 de marzo de 1955	2485	390	16	3860	490	13
4 de marzo de 1955	1535	502	33	1690	377	22
14 de marzo de 1955	3740	540	14	3670	465	13
18 de marzo de 1955	1145	490	43	1660	301	18
18 de marzo de 1955	1440	201*	14	2090	251	12
13 de abril de 1955 ..	3160	628	20	3800	880	23
13 de abril de 1954 ..	2145	993	46	—	—	—
13 de abril de 1954 ..	2420	804	33	5020	1240	25
10 de julio de 1953 ..	1935	515*	27	552	63*	11
5 de agosto de 1954	2740	151	6	—	—	—
18 de agosto de 1954	2880	402	14	—	—	—

Todas las diferencias, a excepción de aquellas señaladas con un asterisco, eran significativas al nivel de probabilidad de 1%.

de las simples observaciones sobre la enfermedad «bakanae» del arroz hechas por Kurosawa en 1926.

POSIBILIDADES DE APLICACION

Naturalmente, los extraordinarios efectos del ácido gibberélico sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas han provocado amplias especulaciones sobre su posible aplicación en agricultura.

Las posibles aplicaciones prácticas del ácido gibberélico se pueden estudiar en relación con los cuatro tipos de reacciones fisiológicas descritas en este artículo: (1) aumento del peso de los vástagos en seco; (2) aumento en la altura de los tallos principales; (3) inducción de la floración en las plantas bienales sin necesidad de vernalización; (4) interrupción del letargo.

De éstos, el primero es el que en potencia tiene mayor importancia. Como hemos visto ya, se han realizado experimentos de laboratorio en pequeña escala y se ha obtenido un aumento de peso en los tejidos de los vástagos tanto en fresco como en seco. El único trabajo publicado de experimentación detallada en campos de cultivo es el de D. G. Morgan y G. C. Mees [11]. En sus experimentos usaron una solución acuosa de ácido gibberélico, rociando con ella las plantaciones en crecimiento con una dosis de 140 g/ha.

En la mayoría de las plantaciones los resultados fueron defraudantes, en cuanto que el aumento en crecimiento de los tallos y hojas no iba acompañado de un mayor rendimiento en la cosecha. Así sucedió con los tomates, la mora negra (*Ribes nigrum*) guisantes y habas. Las cosechas de trigo a las que se trató en la primavera respondieron con un crecimiento más rápido poco después de ser tratadas, sin que el rendimiento en grano y paja variase a la hora de la recolección. Los rendimientos en las cosechas de raíces disminuían. Sólo con yerbas se obtuvieron aumentos fijos en el rendimiento.

En los experimentos con hierba de césped hechos en diversos centros se segó la hierba de cuatro a diez semanas tras la aplicación de 140 g de ácido gibberélico por hectárea. Era patente el acelerado crecimiento de todas las plantas en el césped, aún en condiciones en que los fertilizantes no producen ningún efecto. A esto acompañaban muy considerables aumentos en materia seca (Tabla II). El contenido de nitrógeno de la hierba era ligeramente menor que el de la hierba no tratada, de forma que los rendimientos de proteína en bruto no aumentaban en la misma proporción que el total de la materia seca. A primera vista estos resultados parecían prometedores. Sin embargo, cuando se permitía a la hierba crecer posteriormente, los rendimientos en los campos tratados eran menores que los de los no tratados (Tabla II), de manera que el efecto neto del tratamiento resultaba despreciable. La razón de este crecimiento aminorado en el segundo corte no es clara. Estos experimentos muestran la cautela que se precisa al trasladar los resultados de experimentaciones en laboratorio a las condiciones en el campo.

Al aminorar la resistencia mecánica, el aumento en longitud del tallo resultará en la práctica más pernicioso que útil. Por ejemplo, la probabilidad de que los cereales sean abatidos, aumenta peligrosamente en las cosechas con tallos extraordinariamente largos. Cuando se trata de una cosecha bienal, como en el caso de la col o la lechuga, que se recolectan en estado de roseta, no es aconsejable estimular la producción del tallo. Hay, sin embargo, un caso en que puede ser un efecto útil; así, en las cosechas en que se extraen fibras del tallo, como ocurre con el cáñamo y el lino. F. Lona y A. Bocchi [24] han demostrado en sus experimentos de laboratorio que tanto la longitud del internódulo como la del tallo del cáñamo aumentan con el ácido gibberélico, sin que se sepa si dichos efectos podrían producirse de modo conveniente en el campo ni cómo serían afectadas por ello la cantidad y calidad de la fibra.

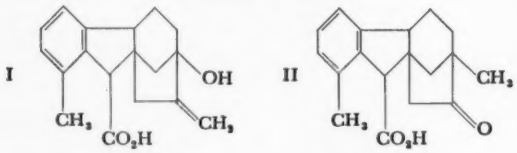
La floración temprana de plantas bienales puede ser beneficiosa para la producción de la semilla de ciertas cosechas, pero no se sabe aún si los experimentos de laboratorio de Lang con el *Hyoscyamus* pueden repetirse en el campo con otras plantas bienales. De igual modo, no se han registrado resultados prácticos en relación con la interrupción del letargo. Podemos deducir, por consiguiente, que los experimentos llevados a cabo en el campo no aconsejan aún un mayor uso del ácido gibberélico en las prácticas agrícolas; se precisan ulteriores experimentaciones en el campo antes de emitir dictamen sobre las posibles aplicaciones.

QUIMICA DEL ACIDO GIBBERELICO

El ácido gibberélico es un ácido carboxílico monobásico, incoloro, se funde con descomposición a 233–235° C; es ópticamente activo ($[\alpha]_D^{20} + 92°$). El análisis elemental y el peso molecular establecen su fórmula: $C_{19}H_{22}O_6$ [25]. Posee dos hidroxilos, ya que forma derivados mono y diacetilados, de cada uno de los cuales se obtiene un éster monometílico, al igual que del ácido. Si el ácido se deja a la temperatura ambiente con exceso de álcali se neutraliza un segundo equivalente de álcali; esto junto con el hecho de que el espectro infrarrojo

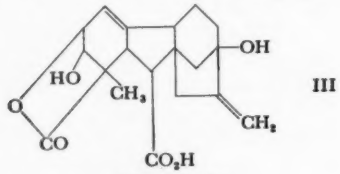
del ácido y sus derivados en solución dioxano muestra unas bandas fuertes a 1780 cm^{-1}, indica la presencia de un anillo γ-lactona saturado. Por microhidrogenación se muestra que posee dos enlaces etilénicos. Los datos anteriores determinan todos los átomos de oxígeno y muestran que el ácido gibberélico es un ácido dihidroxilactónico tetracíclico.

Se ha obtenido información más amplia sobre el sistema de anillos a base del estudio de los productos de la hidrólisis ácida. La hidrólisis ácida suave (ácido clorhídrico normal a 20° C) del ácido gibberélico suministra, entre otros productos, el ácido *alo*gibbérico ($C_{18}H_{20}O_3$), junto con una molécula de anhídrido carbónico; si la hidrólisis se verifica a 100° C el ácido *alo*gibbérico se isomeriza a ácido gibbérico. Las pruebas disponibles, resumidas a continuación, permiten fijar con considerable exactitud la estructura de los dos productos de hidrólisis de la siguiente forma:



ácido alo*gibbérico* *ácido gibbérico*

La determinación de la estructura de estos dos derivados no permite, sin embargo, establecer una estructura definitiva para el ácido gibberélico. Todas las observaciones coinciden con la estructura III, pero hay otras posibilidades, resumidas en otro lugar [26], que de momento no pueden excluirse. La estereoquímica del ácido gibberélico y



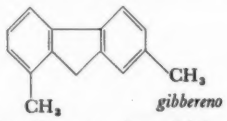
ácido gibberélico

su relación estructural con las gibberelinas A_1 y A_2 están todavía por dilucidar.

Acido gibbérico. La formación de una oxima, un éster metílico y un éster de oxima muestra que se trata de un ácido cetónico; el espectro infrarrojo, con una fuerte banda en 1741 cm^{-1}, indica que el grupo cetónico está presente en un anillo pentagonal. No posee enlaces etilénicos, pero el espectro ultravioleta muestra la presencia de un anillo bencénico.

Por oxidación con anhídrido selenioso se obtiene ácido gibberdiónico ($C_{18}H_{18}O_4$), ciclo α-acetona de color amarillo. El espectro ultravioleta de absorción de éste es casi idéntico al del ácido gibbérico, tanto en solución alcohólica como en hidróxido sódico. Esto es significativo, ya que las α-dicetonas en las que los átomos adyacentes de carbono poseen hidrógeno se enolizan fácilmente y, por tanto, tienen un espectro ultravioleta característicamente diferente de la monocetona madre. El ácido gibbérico por tanto contiene un grupo —CH_2—CO— situado de tal modo en un anillo pentagonal que impide la enolización.

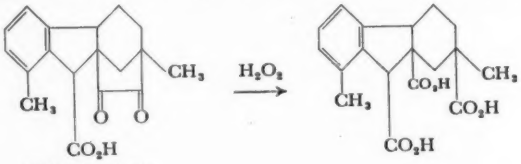
La oxidación a ácido 1:2:3-tricarboxil bencénico y la deshidrogenación con selenio a un hidrocarburo, el gibbereno, que se ha demostrado ser 1:7-dimetilfluoreno (IV) establece la presencia del



gibbereno

núcleo 5:6:7:8:12:13-hexahidro-1:7-dimetilfluoreno. El gibbereno ha sido sintetizado sin lugar a duda [27] a partir del ácido 2-amino-5-metil benzoico y *o*-tolil bromuro magnésico. La sugerencia [28] de que un ácido obtenido del gibbereno sea el ácido fluorenona-4:5-dicarboxílico debe descartarse [29].

Es evidente que no hay un reajuste del esqueleto estructural durante la deshidrogenación con selenio porque se obtiene también gibbereno por la deshidrogenación suave del ácido tricarboxílico (VI) formado por la oxidación del ácido gibberdiónico con agua oxigenada y álcali. La deshidrogenación del ácido gibbérico con selenio, por tanto,

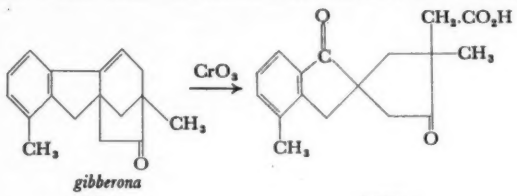


ácido gibberdiónico V VI

acarrea la supresión del puente —CH_2—CO—, y entonces el grupo metileno de este puente se agrega a un átomo de carbono cuaternario.

La posición en el ácido gibbérico del grupo metileno-carbonílico se determina finalmente por la siguiente serie de reacciones. La oxidación con permanganato produce ácido deshidrogibbérico, cuyo espectro ultravioleta indica la presencia de un enlace etilénico conjugado con el anillo bencénico. Este ácido puede ser descarboxilado para formar una cetona con un anillo pentagonal: la gibberona. Esta conserva el doble enlace

conjugado, cuya posición debe ser como en (VII), ya que por oxidación con ácido crómico se obtiene un ácido indanonacarboxílico estable en álcalis



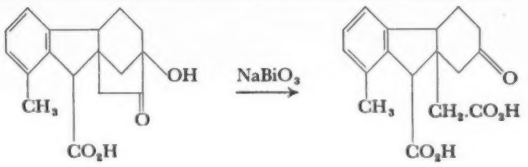
gibberona

VII VIII

(VIII). La constitución de VIII puede deducirse ser así por el hecho de que por oxidación permangánica se obtienen ácido 3-metilftálico y ácido β-metiltricarbalílico.

Finalmente, la posición del grupo carboxílico en el ácido gibbérico se fijó por la deshidrogenación del metil gibberdionato a metil 1:7-dimetilfluoreno-9 carboxilato idéntico a una muestra obtenida por síntesis.

El ácido alog*ibbérico.* Contiene un anillo benzénico, un grupo metilénico terminal y un grupo hidroxílico que parece ser terciario porque es



IX X

difícil de acilar y porque el ácido dihidro*alog*ibbérico no se puede oxidar a cetona. Una reestructuración de tipo Wagner-Meerwein explicaría la isomerización a ácido gibbérico. La posición del grupo carboxílico es como en el ácido gibbérico, ya que el metil *alog*ibberato con ácido diluido proporciona metil gibberato. Por ozonólisis del ácido *alog*ibbérico se obtiene formaldehido y un α-cetol pentagonal (IX), el cual con bismutato sódico se oxida a un ácido dicarboxílico (X). El ácido dicarboxílico, por deshidrogenación con selenio, produce 7-hidroxi-1-metil fluoreno, idéntico con una muestra obtenida por síntesis a partir del ácido 2-amino-5-metoxibenzoico siguiendo un camino similar al usado para la síntesis del gibbereno [30].

REFERENCIAS

[1] KUROSAWA, E. *Trans. nat. Hist. Soc., Formosa,* **16**, 213, 1926.

[2] YABUTA, T. y HAYASHI, T. *J. agric. chem. Soc., Japan,* **15**, 257, 1939.

[3] CURTIS, P. J. y CROSS, B. E. *Chem. and Ind.*, 1066, 1954.
STODOLA, F. H., RAPER, K. B., FENNELL, D. I., CONWAY, H. F., SOHNS, V. E., LANGFORD, C. T., y JACKSON, R. W. *Arch. Biochem. Biophys.*, **54**, 240, 1955.
TAKAHASHI, N., KITAMURA, H., KAWARADA, A., SETA, Y., TAKAI, M., TAMURA, S., y SUMIKI, Y. *Bull. agric. chem. Soc., Japan,* **19**, 267, 1955.

[4] YABUTA, T., SUMIKI, Y., KATAYAMA, E., y MOTOYAMA, K. *J. agric. chem. Soc., Japan,* **16**, 1157, 1940.

[5] KITAMURA, H., KAWARADA, A., SETA, Y., TAKAHASHI, N., OTSUKI, T., y SUMIKI, Y. *Ibid.*, **27**, 545, 1953.

[6] BORROW, A., BRIAN, P. W., CHESTER, V. E., CURTIS, P. J., HEMMING, H. G., HENEHAN, C., JEFFERYS, E. G. LLOYD, P. B., NIXON, I. S., NORRIS, G. L. F., y RADLEY, M. *J. Sci. Food Agric.*, **6**, 340, 1955.

[7] BRIAN, P. W., ELSON, G. W., HEMMING, H. G., y RADLEY, M. *Ibid.*, **5**, 602, 1954.

[8] BRIAN, P. W. y HEMMING, H. G. *Physiol. Plant.*, **8**, 669, 1955.

[9] BRIAN, P. W. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **11**, 1957. (En prensa.)

[10] BUKOVAC, M. J. y WITTWER, S. H. *Quart. Bull. Mich. Agric. Exp. Sta.*, **39**, 307, 1956.

[11] MORGAN, D. G. y MEES, G. C. *Nature, Lond.*, **178**, 1356, 1956.

[12] MARTH, P. C., AUDIA, W. V., y MITCHELL, J. W. *Gibberellic Acid—A Plant Regulator.* U.S. Dept. of Agriculture, Beltsville, Maryland. 1956.

[13] AUDUS, L. J. *Endeavour,* **14**, 205, 1955.

[14] BRIAN, P. W., HEMMING, H. G., y RADLEY, M. *Physiol. Plant.*, **8**, 899, 1955.

[15] KATO, J. *Mem. Coll. Sci. Kyoto, Ser. B.*, **20**, 189, 1953.

[16] BRIAN, P. W. y HEMMING, H. G. *Nature, Lond.*, **179**, 417, 1957.

[17] LANG, A. *Naturwissenschaften,* **11**, 257, 1956.
Idem. Ibid., **11**, 284, 1956.

[18] KNAPP, R. *Z. Naturforsch.*, **11b**, 698, 1956.

[19] LONA, F. *Ateneo Parmense,* **27**, 641, 1956.

[20] PHINNEY, B. O. *Proc. Nat. Acad. Sci., Wash.*, **42**, 185, 1956.

[21] MITCHELL, J. W., SKAGGS, D. P., y ANDERSON, W. P. *Science,* **114**, 159, 1951.

[22] WEST, C. A. y PHINNEY, B. O. *Plant Physiol. (Suppl.)*, **31**, 20, 1956.

[23] RADLEY, M. *Nature, Lond.*, **178**, 1070, 1956.

[24] LONA, F. y BOCCHI, A. *Riv. int. Agric.*, No. 7, 1956.

[25] CROSS, B. E. *J. chem. Soc.*, 4670, 1954.

[26] CROSS, B. E., GROVE, J. F., MACMILLAN, J., y MULHOLLAND, T. P. C. *Chem. and Ind.*, 954, 1956.

[27] MULHOLLAND, T. P. C. y WARD, G. *J. chem. Soc.*, 4676, 1954.

[28] YABUTA, T., SUMIKI, Y., AZABU, K., TAMURA, T., MARASHI, H., y TAMARI, K. *J. agric. chem. Soc., Japan,* **16**, 975, 1940.

[29] MULHOLLAND, T. P. C. y WARD, G. *J. chem. Soc.*, 2415, 1956.

[30] MULHOLLAND, T. P. C. Comunicación personal.

Revista de libros

CIENCIA GENERAL

CARDWELL, D. S. L.: *The Organisation of Science in England.* IX + 204 págs. William Heinemann Ltd., Londres. 1957. 18s.

El autor de este libro, al reseñar el desarrollo de la educación científica y técnica en Inglaterra desde 1800 hasta 1918, presta un muy útil servicio. Su crónica está bien documentada y contiene exactos resúmenes de las principales características de tema tan confuso como fascinador; en ella ha recogido los nombres a los que corresponde la mayor gloria como iniciadores de la educación científica: Brougham y Birkbeck, Babbage y Lyon Playfair, James Hole y Booth. Contiene este libro también un buen estudio de la parte que correspondió a las escuelas de mecánica, la *Royal Society of Arts*, la *British Association* y los comités especiales y reales comisiones que funcionaron después de la Gran Exposición de 1851.

Con buen sentido, Cardwell omite las excesivas explicaciones o racionalizaciones de los hechos de su crónica. Casi todas las páginas nos plantean problemas. ¿Por qué en Inglaterra la enseñanza técnica se desarrolló tan diferentemente de la de Alemania? ¿Por qué, si la enseñanza técnica estaba mucho más desarrollada en el continente hacia 1860, encuentra uno comúnmente operarios ingleses trabajando en las casas europeas? ¿La resistencia de Oxford y Cambridge a reformarse; atrasó o aceleró la aparición de las universidades de las provincias en Inglaterra? Y así sucesivamente. Será preciso un estudio mucho más completo (especialmente de las fuentes extranjeras) para poder responder a esas preguntas. Pero este libro sirve para plantearlas y es por lo tanto una contribución significativa.

En él se tratan muchas cosas que ya había estudiado el Profesor Armytage en los capítulos 8 a 11 de su *Civic Universities:* la comparación es inevitable. Cardwell no escribe con la misma claridad y precisión ni domina tan magistralmente los datos. Hay en su obra algunas inconsecuencias menores, pero irritantes; algunos nombres llevan iniciales, títulos y grados; otros no merecen tales favores. Defecto mucho más grave es que el índice, que es esencial en una obra de este género, es bastante malo. Con todo, este libro es una valiosa contribución a la historia de la educación y debemos felicitar a su autor por haber sabido incluir tanto material en un volumen tan reducido.

E. ASHBY

ASTRONOMIA

ABETTI, G.: *The Sun* (traducido al inglés por J. B. Sidgwick). 336 págs. Faber and Faber, Londres. 1957. 63s.

Desde su publicación en 1934, *Il Sole* del Profesor Abetti ha constituido el estudio más completo de los fenómenos relacionados con las manchas y otras características de la superficie solar y sus cambios de forma y posición. Hoy es una obra clásica de consulta de la que ya se publicó una traducción inglesa en 1938.

En 1951 apareció una segunda edición italiana, corregida y aumentada, que recoge los grandes progresos en la ciencia solar desde la aparición de la primera. En particular se ha reconocido y estudiado intensamente la importancia y significación de las erupciones solares, se han descubierto e investigado las radioemisiones solares del astro quiescente y las más intensas procedentes de las regiones agitadas, se ha hallado el origen de las líneas espectrales de la corona y se han hecho profundos estudios físicos de ésta, y, por último, se han averiguado numerosos datos sobre la constitución solar y las fuentes de la energía estelar.

La publicación de una traducción inglesa de esta segunda edición es por tanto muy valiosa. Como el rápido progreso de las investigaciones solares habían hecho necesarias ciertas modificaciones al texto italiano, el mismo Profesor Abetti las ha preparado para la traducción inglesa, que suministra así el conjunto completo de lo que hoy sabemos sobre el Sol. Este es un libro que tanto el lector profano como el estudiante especializado pueden leer con provecho. Además, sus numerosas planchas, cuidadosamente seleccionadas para ilustrar los diversos instrumentos observacionales y los distintos fenómenos solares, añaden grandemente al valor de esta obra.

H. SPENCER JONES

FISICA

ANDRADE, E. N. DA C.: *An Approach to Modern Physics.* IX + 232 págs. G. Bell & Sons Ltd., Londres. 1956. 25s.

Este volumen es una nueva versión, muy ampliada y revisada, del libro del Profesor Andrade publicado en 1930 con el título *The Mechanics of Nature*, del que se han impreso numerosas ediciones. Hoy el texto es casi el doble del original y recoge todos los progresos de la física durante los últimos treinta años.

Está presentado como una serie de «charlas» (o quizás debiéramos decir «visitas con guía») sobre las diversas ramas de la física, en la que rápidamente se presentan todas las características del panorama de dicha ciencia desde los primeros tiempos de su desarrollo moderno hasta hoy. Poseedor de un profundo conocimiento en esta materia, de una experiencia notable y de una cultura general muy amplia, el Profesor Andrade introduce en sus relatos, además de ciertas notas de humor, observaciones estimuladoras y penetrantes, interesantes comparaciones y citas muy informativas de una gran variedad de fuentes autorizadas. Nos sorprende hallar, por ejemplo, que Newton, con intuición profética, había previsto el peligro que entrañaba para la humanidad el descubrimiento de un método para transmutar los elementos.

El método de desarrollo del libro es a un mismo tiempo lógico y cronológico. Después de revisar la función de la física y la precisa significación que debe atribuirse a sus descubrimientos y teorías, el Profesor Andrade trata del calor y la energía, el sonido y las vibraciones, la luz y la radiación, la electricidad y las partículas con carga, los sólidos y líquidos, la teoría quántica, la estructura del átomo, la del núcleo, las aplicaciones de la energía nuclear y, finalmente, las incertidumbres de Heisenberg.

Así el lector va guiado, poco a poco, firme y hábilmente hacia las ramas más abstrusas de la física, hasta alcanzar los extraordinarios descubrimientos de la ciencia contemporánea. Es notable la claridad y originalidad de la exposición, la facilidad con la que el autor nos introduce a los más difíciles problemas, y la inteligencia con que nos descubre relaciones ocultas. Es de especial interés el capítulo sobre los sólidos y líquidos, tema en el que es gran especialista y autor de notables trabajos, y los dos capítulos sobre los núcleos y la energía nuclear.

Nos recuerda además que los principios éticos tienen una permanencia que no es propia de los conceptos físicos y que por lo tanto es vano basar una doctrina filosófica en los resultados científicos, siempre provisionales.

Este libro es una obra notable en la que se nos presenta un espléndido panorama del brillante progreso de la física moderna y refleja además el equilibrio y claridad del pensamiento de su autor y su vasta riqueza de experiencia y conocimientos. LOUIS DE BROGLIE

SOUTHWELL, Sir Richard: *Relaxation Methods in Theoretical Physics*. Vol. II. VI + 522 págs. Clarendon Press, Oxford. 1956. 55s.

Este es el segundo volumen de un tratado sobre los métodos de relajación en la física teórica, cuyo primer volumen vió la luz en 1946. En él se trataban los problemas de potencial de los planos, los de la transformación conformal y los problemas relacionados con los límites o interfaces cuyas posiciones no se conocen finalmente. El presente volumen estudia otros problemas difíciles que no pudieron incluirse en el anterior por estar todavía sometidos a las restricciones que a la publicación impuso la guerra. Están relacionados con el análisis biarmónico, los sistemas de tensiones en los sólidos en revolución, los eigenvalores, determinados aspectos de la estabilidad elástica, y un número de interesantes problemas no lineales de elasticidad, hidrodinámica y plasticidad. Este volumen es pues de gran interés no sólo por la variedad de importantes problemas de matemática e ingeniería que estudia, sino también por los progresos técnicos en los métodos de relajación que describe. Bellamente ilustrado e impreso, esta obra refleja sin embargo una cierta melancolía, como si el autor se despidiera en ella de sus lectores. Nadie mejor que él puede decir que ha alcanzado su propósito; pero es de desear que Sir Richard Southwell halle nuevos mundos que conquistar y otros libros que escribir. G. TEMPLE

SWAINGER, K.: *Analysis of Deformation*, Vol. III. *Fluidity*. XXVII + 266 págs. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 65s.

Este volumen trata de la deformación desde el punto de vista de la fluidez y sirve para que su autor haga una crítica del enfoque clásico de tal tema y presente una teoría nueva sobre la moción flúida. La característica principal de tal teoría es que rechaza el término referente a la aceleración convectiva no lineal en la forma de Euler de la ecuación de la tensión de moción.

Después de un capítulo introductorio, sigue una exposición de la formulación matemática de ambas teorías: la del autor y la clásica. El resto del libro, aparte de ciertos apéndices matemáticos innecesarios, trata de las aplicaciones a temas tales como el flujo viscoso y la tensión-fluidez.

La mayoría de las observaciones que hicimos al reseñar los Volúmenes I y II de esta serie siguen siendo válidas y no es preciso reiterarlas, pero sí conviene notar que en esta ocasión no menos de siete páginas se dedican a la «Notación Principal», lo cual es una indicación de la dificultad de comprender las numerosas ecuaciones que aparecen a lo largo de la obra. El autor confiesa que «era muy tentador continuar ampliando la obra» y sugiere una segunda edición. Quizás hubiera sido mejor retrasar la publicación de ésta, y de los volúmenes anteriores, hasta que las doctrinas que contiene hubiesen alcanzado un estado más estable y aceptable.

L. S. GODDARD

COWLING, T. G.: *Magnetohydrodynamics*. VIII + 115 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. En pasta, $3,50; en rústica, $1,75.

Por lo general, el licenciado de física conoce algo sobre el problema del origen del campo magnético terrestre y quizás habrá leído algo sobre la teoría de la dínamo que se utiliza para explicar su conservación. Sin embargo, es poco probable que sepa que dicha teoría es sólo uno de los ejemplos de las numerosas aplicaciones de la magnetohidrodinámica, o sea el estudio de la moción de flúidos electroconductores en presencia de campos magnéticos. Pero la lectura de este excelente librito le dará una idea de las numerosas y fascinantes aplicaciones de dicho estudio a problemas como los del equilibrio de las manchas solares, las erupciones y filamentos solares, la rotación estelar, las estrellas magnéticas variables y los gases ionizados; al mismo tiempo, el libro contiene un relato de los intentos realizados por el autor para explicar la oscuridad de las manchas solares por medio de la inhibición magnética de la convección. Los experimentos sobre el mercurio en movimiento y el sodio líquido parecen sugerir la existencia de una rama relativamente nueva de la ciencia que merece mayor atención. L. F. BATES

KITTEL, Charles: *Introduction to Solid State Physics* (segunda edición). XVII + 617 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 96s.

Todo un mundo en un grano de arena . . . La física del estado sólido ofrece un festín para todos los que se interesen en cualquier aspecto de la ciencia. El historiador natural puede entrenarse en coleccionar sistemas de desarrollo cristalino; el químico, preguntarse si las zonas de Brillouin explican verdaderamente la formación de fases aleatorias complejas con 51 átomos por unidad celular. A quienes les diviertan los cálculos, encontrarán en los referentes a las bandas de energía bastantes operaciones para alimentar todos los computadores electrónicos del mundo. Los elegantes matemáticos pueden flirtear con el modelo Ising y las redes espectrales. La superconductividad plantea un formidable problema a los más poderosos intelectos en la física teórica. Y los experimentadores podrán jugar felices con las «patillas de estaño» y las redes de dislocación.

Desde su publicación hace sólo tres años, la obra de Kittel ha sido (especialmente en los Estados Unidos) la puerta por donde se entra a ese riquísimo universo. Esta nueva edición ha aumentado casi en la mitad en cuanto a tamaño, y bastante más en cuanto a precio. Muchas secciones se han ampliado para incluir más material o mejorar la exposición; se ha alterado el orden de los temas y añadido capítulos enteramente nuevos. La obra conserva la lucidez, el estilo ágil y directo y la habilidad de ofrecer simples explicaciones «físicas» que tan valiosa hacían la primera edición. Hay algunos detalles en los que podríamos no estar de acuerdo, hay señales de precipitación al preparar el texto y corregir las pruebas; pero ésas son faltas menores en un libro fundamentalmente útil, indispensable para aprender, enseñar y recordar todo lo que debe saber un físico especializado en el estudio del estado sólido. J. M. ZIMAN

MEREDITH, R. (Compilador): *The Mechanical Properties of Textile Fibres*. XII + 333 págs. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1956. 61s.

Durante los últimos años, el estudio físico de las fibras ha crecido en amplitud e importancia y hoy atrae la atención de creciente número de investigadores. La presente monografía forma parte de una serie que estudia la reología de la deformación y del flujo en substancias naturales y sintéticas. Tanto el Dr. Meredith como sus colaboradores merecen nuestra felicitación por la útil obra que publican. Este es el primer libro de su clase que se

esfuerza por interpretar en detalle las propiedades mecánicas de las fibras en relación con los datos conocidos sobre su estructura.

El tema se desarrolla partiendo de los principios básicos referentes a los tres grupos principales de fibras textiles: celulosa, proteínas y fibras sintéticas. Después de tratar brevemente de la estructura de esos grupos, los autores estudian y relacionan las características estructurales con otros aspectos importantes de las fibras, tales como la relajación y el flujo, la relación tensión-tracción, la resistencia, las propiedades dinámicas y mecánicas y la resiliencia. Se han evitado los excesivos detalles que complican la exposición. Este es un libro de gran utilidad para todo lector interesado en estas cuestiones.

R. HILL

QUIMICA

BOSWORTH, R. C. L.: *Transport Processes in Applied Chemistry*. x + 387 págs. Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., Londres. 1956. 84s.

Este es el tercer libro de este autor que trata de aspectos de la física de fundamental importancia en muchas operaciones de la química industrial.

Su segundo libro, publicado en 1952, trataba de recientes desarrollos en la transferencia térmica, estudiándola como un proceso de transporte fundamentalmente similar a la difusión de la materia, momento, y cargas eléctricas. El presente volumen extiende este tratamiento y se ocupa de una gama más amplia de procesos, que estudia con más profundidad, e incluye operaciones industriales completas. El autor trata del significado y funcionamiento de los procesos de transporte por moción molecular y de la transferencia radiante y convectiva. Otros capítulos tratan del transporte turbulento e interfase, de la irreversibilidad, retroacción, operaciones en cascada y similaridad química, formulándose métodos para medir la eficacia de los procesos de transporte. Un capítulo final sobre los aspectos más amplios de los procesos de transporte incluye ciertas consideraciones sobre la fuerza impulsora y el costo final de las operaciones industriales, y sobre la eficacia de la utilización energética.

Cada capítulo es, por necesidad, una reseña breve pero útil del tema particular de que trata. Esto, añadido al tratamiento matemático unificado de una gama muy amplia de procesos de transporte, da gran valor a este libro para los especialistas en química aplicada y los ingenieros químicos en las universidades y en la industria que deseen conseguir una visión más honda y fundamental de estos aspectos de las operaciones industriales.

C. M. NICHOLLS

HAYWOOD, F. W. y WOOD, A. A. R.: *Metallurgical Analysis by means of the Spekker Photoelectric Absorptiometer*. VIII + 292 págs. Hilger and Watts Ltd., Londres. 1956. 40s.

Publicado primeramente en 1944, este libro sobre el análisis colorimétrico ha sufrido una completa revisión y puesta al día por A. A. R. Wood teniendo en cuenta los numerosos progresos realizados en esta esfera. Dicho autor cooperó en la preparación y desarrollo del aparato de Spekker y es autor de varios trabajos sobre la metodología del análisis de los elementos específicos. La primera parte del libro trata de los principios del análisis colorimétrico e incluye detalles sobre la construcción, operación y mantenimiento de dos modelos del absorciómetro fotoeléctrico de Spekker. En la segunda parte se incluyen los métodos seleccionados de análisis de los elementos comunmente hallados en las aleaciones de base aluminio, cobre, magnesio o cinc y en los aceros más comunes. Una extensa bibliografía cubre el período 1940–54 e incluye trabajos originales sobre la determinación de 22 elementos por análisis colorímetrico con el aparato de Spekker. En un útil apéndice se incluyen tablas sobre la composición media de varios metales y aleaciones que sirven de adecuados patrones químicos para este tipo de trabajos analíticos. Este es un manual indispensable en todo laboratorio en el que se haga uso del instrumento de Spekker.

B. W. MOTT

GAYLORD, N. G.: *Reduction with Complex Metal Hydrides*. XVI + 1046 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1956. $16.

La reducción de los compuestos orgánicos con hidruro de litio y aluminio fue descrita por vez primera hace diez años. Los químicos orgánicos comprendieron pronto que este reactivo podía usarse, por ejemplo, para reducir un éster a alcohol en éter frío. Durante este período los usos del hidruro de litio y aluminio y compuestos con él relacionados tales como el borohidruro de sodio han sido muy numerosos, y se ha hecho sentir la necesidad de una monografía completa sobre ellos. Este libro, que recoje todos los trabajos publicados hasta enero de 1953, llena dicha laguna de manera muy completa y crítica; en él se estudian la preparación y reacciones de los hidruros metálicos complejos, incluyendo los menos comunes, tales como el hidruro de magnesio y aluminio y el de litio y galio.

El autor trata sistemáticamente de cada hidruro, de sus relaciones con los reactivos inorgánicos y con los varios grupos de compuestos orgánicos, y concluye con unos capítulos sobre el manejo experimental de estos compuestos. No se hace referencia a los trabajos más recientes, pero aún así este libro es de primera necesidad en todo laboratorio de química orgánica. Desgraciadamente, su precio es tan elevado que muy pocos químicos podrán costearse un ejemplar para uso personal.

T. G. HALSALL

ACHESON, R. M.: *Acridines*. XII + 409 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1956. $12,50.

Este es el noveno volumen de la serie de monografías sobre «La química de los compuestos heterocíclicos» que publica la Editorial Interscience. Una rápida lectura indica que se trata de un libro valioso. El contenido se halla bien ordenado en nueve capítulos que tratan de los principales grupos de derivados acridínicos, de las alcaloides acridínicos, los espectros de absorción de las acridinas (por L. E. Orgel) y las acridinas biológicamente activas.

Es inevitable la comparación con la monografía por el Profesor Adrien Albert publicada en 1951. Ambas obras están muy distintamente estructuradas y ofrecen un enfoque totalmente diferente. La obra de Albert contiene detalles experimentales de numerosas preparaciones y es, evidentemente, labor de un investigador de antiguo interesado en este estudio. El libro de Acheson es una monografía de tipo más convencional, pero tiene la ventaja de recoger la literatura hasta 1954.

Acheson dedica siete páginas al estudio de la nomenclatura y numeración y reproduce una gráfica de comparación de la frecuencia de utilización de los sistemas de numeración de Graebe y Richter. Albert usa el método de Richter, pero Acheson, basándose en su estudio estadístico, prefiere el de Graebe, que es el que ahora utiliza *Chemical Abstracts*.

K. SCHOFIELD

PORTER, M. W. y SPILLER, R. C.: *The Barker Index of Crystals*, Vol. II. Parte 1, 383 págs.; Parte 2, 1800 págs.; Parte 3, 1772 págs. W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge. 1956. £10.

El *Barker Index* hace posible la identificación de las substancias mediante la comparación de los ángulos cristalográficos con ciertos valores conocidos. La mitad de las magnitudes conocidas se refieren a cristales monoclínicos; el Vol. II que de ellos trata es, por lo tanto, muy extenso. Para ordenar 3572 substancias de acuerdo a sus ángulos interfaciales es preciso establecer una serie de índices (ejes cristalográficos, orientación, etc.) que deben tener en cuenta los distintos desarrollos cristalográficos. El texto del *Index* está reproducido por un método fotográfico.

Aparte de su posible uso para operaciones analíticas, estos volúmenes forman una valiosa colección de datos morfológicos, recogiendo en sus páginas todos los cristales monoclínicos contenidos en la *Chemische Kristallographie* de Groth y otros más. Muchos de los errores imputables al investigador que hizo la mensuración original y que pasaron luego a las páginas de Groth han sido corregidos en esta publicación.

Como útil información complementaria, la obra contiene datos sobre los índices de refracción, densidades y puntos de fusión, además de otros índices en diversas formas, y referencias al índice de datos radiográficos de la American Society for Testing Materials.

Una introducción de M. H. Hey complementa los estudios contenidos en el Volumen I (Parte 1) describiendo las aplicaciones especiales del método de Barker al sistema monoclínico.

Importante adición, cuya falta se hacía sentir en el Volumen I, es una página de breves instrucciones para uso de los cristalógrafos ya experimentados.

H. M. POWELL

GEOFISICA

BALMER, H.: *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*. 892 págs. Verlag H. R. Sauerländer & Co., Aarau. 1956. Frs. suizos 31,10.

Este libro es una ampliación de una tesis doctoral; la primera parte contiene una historia general del estudio del geomagnetismo, desde la antigüedad hasta hoy; la segunda, traducciones al alemán de la mayoría de los textos clásicos sobre este tema, incluyendo la carta de Petrus Peregrinus, la totalidad de *De Magnete* de Gilbert, el *Havenvinding* de Stevin, algunas cartas de Kepler y otros muchos textos. Esta sección será de gran valor para todo lector de lengua alemana, aunque gran parte de las cartas se encuentran también traducidas al francés y al inglés. La tercera sección estudia la persistente creencia en dos mitos magnéticos: la existencia de una enorme montaña magnética, y la posibilidad de comunicarse a gran distancia por medio de imanes. Hay además 200 páginas de breves biografías de unos 950 personajes relacionados con la historia del geomagnetismo, y un estudio del desarrollo de esta materia en Suiza.

Con razón el autor llama a su obra una «Colección» más bien que una «Historia», pues contiene gran número de interesantes informaciones, reunidas pero no estudiadas profundamente.

E. C. BULLARD

BIOLOGIA

HAÏSSINSKY, M.: *Actions chimiques et biologiques des radiations*. VI + 221 págs. Masson et Cie, París. 1956. En pasta, Frs. 3400; en rústica, Frs. 2800.

La segunda de esta serie de monografías consiste de tres trabajos. W. Mund estudia los efectos químicos producidos por el paso de radiaciones ionizantes a través de gases e incluye dos detalladas secciones especiales sobre las reacciones orgánicas e inorgánicas inducidas por las radiaciones. M. Ageno describe los fenómenos luminiscentes producidos por los rayos de altas energías y presenta recientes métodos para el estudio de los fenómenos de escintilación y sus resultados. La introducción de N. Miller a la dosimetría de las radiaciones es excelente y debe ser de gran valor a los investigadores en numerosas esferas. Una característica admirable de todos estos trabajos, y en especial del de Ageno, es la estrecha relación que se mantiene entre el aspecto teórico y el práctico. De especial importancia es el relieve que se da a los métodos usados en los distintos estudios, lo cual significa que el lector puede apreciar con mayor claridad ciertas dificultades de los problemas de que se trata y, al mismo tiempo, recoger útiles datos prácticos. El libro contiene un apéndice con los factores de conversión de las constantes físicas y detalles prácticos sobre la dosimetría de las radiaciones. Una crítica que puede hacerse es que hay una ligera tendencia a que el texto se superponga sobre las figuras. De todos modos, esta monografía será una valiosa adición a toda biblioteca científica.

D. B. ROODYN

BIOQUIMICA

Biochemical Problems of Lipids (Actas de la Segunda Conferencia Internacional celebrada en la Universidad de Gante, 27–30 Julio 1955), preparadas por G. Popjak y E. le Breton. XVI + 505 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres; Interscience Publishers Inc., Nueva York. 1956. 70s.

Los conocimientos sobre la química y bioquímica de los lípidos han aumentado considerablemente en los cinco años últimos, principalmente gracias a los nuevos métodos de la cromatografía de gas-líquido y al descubrimiento de la coenzima A y su función en el metabolismo de los ácidos grasos. Las enzimas que producen la β-oxidación y la síntesis de los ácidos grasos están hoy identificadas y se pueden aislar, lo cual ha conducido al detallado conocimiento del metabolismo intermediario de los ácidos grasos. La bioquímica de los fosfolípidos y de la transferencia de grasas y el estudio de los aspectos nutricionales (especialmente de los ácidos grasos insaturados) también han progresado considerablemente. Todos esos progresos, así como otros aspectos, aparecen resumidos y considerados en el presente volumen, el cual contiene 69 trabajos (principalmente en inglés y algunos en francés y alemán), junto con una breve reseña de las discusiones que siguieron a la presentación de las ponencias. Han contribuido a esta colección numerosos especialistas de gran autoridad en esta esfera, resultando por lo tanto una útil recopilación de las investigaciones recientes y actuales sobre la bioquímica de los lípidos.

H. A. KREBS

BURNET, Sir Macfarlane: *Enzyme Antigen and Virus*. VIII + 193 págs. Cambridge University Press, Londres. 1956. 18s.

Este libro es una extensión de las teorías presentadas en 1949 por Burnet y Fenner en su monografía *The Production of Antibodies* y en él se intenta relacionar la formación de anticuerpos con los fenómenos recientemente descubiertos de las enzimas adaptativas y el desarrollo de los virus. En los tres casos, la célula recibe un estímulo que provoca la producción de un nuevo tipo de proteína. El razonamiento no es siempre fácil de seguir, pero finalmente lleva al autor a una teoría general de la información basada en un esquema macromolecular, que, según sugiere, no puede interpretarse satisfactoriamente por métodos puramente físicoquímicos.

La obra suscitará la crítica de los

especialistas en las materias a las que el autor se refiere. Pero es evidente que la fácil aceptación de sus doctrinas no satisfaría a Sir Macfarlane, ni es probable, en todo caso, en una rama de estudios en tan rápido progreso.

M. STOKER

BOTANICA

HAGERUP, O. y PETERSSON, V.: *Botanisk Atlas*. 550 págs. Ejnar Munksgaard, Copenhague. 1956. En tela, coronas danesas 96; en cuero, 125.

Se trata principalmente de una colección de dibujos de plantas nativas en Dinamarca, o introducidas (o intrusas) en dicho país. Muchas de ellas son también comunes en los países adyacentes y llegan hasta el sur de Inglaterra. La obra describe el hábito de cada planta con dibujos de Vagn Petersson, de líneas finas y precisas, y, por lo general, con muy poco sombreado. Estos dibujos muestran, por lo común, los plenos caracteres de las plantas sin ambigüedad alguna; pero las hierbas, las labiadas y otras tienden a aparecer sólo en forma de inflorescencias. La gran mayoría de estos dibujos son de plantas vivas, pero las potomogetonáceas están tomadas de ejemplares de herbario. Los dibujos de detalle (muy aumentados) son obra de Olaf Hagerup y se combinan muy bien con los anteriores. Los puntos ilustrados no se refieren únicamente a caracteres diagnósticos, sino también a formas de vida y fases biológicas. En general cumplen perfectamente su propósito, pero es sorprendente que no se dé indicación alguna del aumento. Algunas páginas se dedican también a los caracteres generales de las familias más extensas, tales como herbáceas, orquidáceas y umbilíferas. El libro está elegantemente presentado en un gran formato (28 × 20 cm), lo que permite la representación a medio tamaño de gran número de especies.

W. O. JAMES

COBLEY, Leslie S.: *An Introduction to the Botany of Tropical Crops*. XV + 357 págs. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1956. 37s. 6d.

En una materia tan polifacética como es la botánica de los cultivos tropicales no puede haber un texto de tamaño conveniente que trate más que algunos aspectos seleccionados. Cobley ha preferido presentarnos un amplio estudio en el que describe más de 150 especies y se refiere brevemente a otras tantas. Los cultivos se agrupan en doce capítulos según sus productos: cereales, fibras, semillas oleaginosas, etc. Los datos incluidos se refieren por lo general a la posición sistemática de la planta, su origen y distribución en cultivo, una descripción general de su morfología, y notas sobre su utilización. Otras características de igual importancia para el botanoeconomista, tales como la estructura de las poblaciones y los métodos de cultivo reciben, por necesidad, escasa atención.

Dentro de los límites que se ha impuesto, el autor ha realizado una tarea notable, en la que ha recibido pleno apoyo por parte de sus editores. Los datos que contiene esta obra son exactos. Las 82 planchas y 66 figuras completan juiciosamente el texto. Al final de cada capítulo hay una lista de referencias que ayudarán al estudiante a profundizar sus trabajos.

E. E. CHEESMAN

ZOOLOGIA

HARDY, Alister C.: *The Open Sea: Its Natural History: The World of Plankton*. XV + 335 págs. Collins, Londres. 1956. 30s.

Los estudiantes del Profesor Hardy conocen bien sus entusiasmos, y entre ellos no es el menor el que siente por el plancton. Y como es de esperar en quien ocupa la cátedra de zoología y anatomía comparada de la Universidad de Oxford, ese entusiasmo va acompañado de un profundo conocimiento. Lo cual no quiere decir que este libro sea perfecto: su entusiasmo lleva al autor a cierta exuberancia que, aunque distrae al lector en una primera lectura, hace difíciles las consultas posteriores. Al principio, uno opina que quizás unas buenas fotografías o dibujos a línea hubieran sido ilustraciones más adecuadas al texto que las acuarelas que contiene, pero al ir avanzando en la lectura, uno se siente más inclinado a considerar que éstas dan una impresión más exacta de los organismos planctónicos vivos; además, los detalles van acompañados de dibujos a línea y de excelentes fotografías del Dr. D. P. Wilson. Esta impresión general, complementada con la exactitud de detalle del libro, hace de éste la mejor obra en su género, útil tanto para el lector general — para el que no es demasiado técnica — como para el estudiante y, a decir verdad, para el profesor.

D. B. CARLISLE

BELLAIRS, Angus D'A.: *Reptiles*. 195 págs. Hutchinson's University Library, Londres. 1957. 10s. 6d.

Los reptiles actuales pueden distinguirse en cuatro clases claramente definidas: tortugas, tuataras, lagartos y serpientes y cocodrilos. Las formas extintas revelan una mayor diversidad de organización y sólo mediante su estudio se puede obtener un más completo conocimiento de la anatomía reptil. Los primeros reptiles aparecieron en el carbonífero, dominaron durante el mesozoico, era que duró unos 120 millones de años y que hoy denominamos Edad de los Reptiles. Los órdenes gigantes desaparecieron hacia el final del cretáceo.

Tiene gran mérito redactar un estudio bastante completo de los reptiles en un espacio tan reducido, labor que ha llevado a cabo con gran habilidad Angus d'A. Bellairs. El lector encuentra primero un estudio de las principales características anatómicas y fisiológicas del organismo reptil, seguido de una descripción de las clases más importantes de reptiles fósiles y extantes, con un capítulo final sobre la biología de lagartos y serpientes. El texto va acompañado de doce planchas y numerosas ilustraciones, con una bibliografía de los textos más importantes para ampliar estos conocimientos. Debemos agradecer al autor por la publicación de esta obra, que esperamos alcance gran circulación, especialmente entre los estudiantes.

E. KUHN-SCHNYDER

BOYD, J. D., LE GROS CLARK, Sir Wilfrid, HAMILTON, W. J., YOFFEY, J. M., ZUCKERMAN, Sir Solly y APPLETON, A. M.: *Textbook of Human Anatomy*. XII + 1022 págs. Macmillan & Co. Ltd., Londres; St. Martin's Press, Nueva York. 1956. £5.

Los que critican el carácter memorístico de los actuales estudios de medicina usan como uno de sus principales argumentos el curso ordinario de anatomía. Este libro representa un intento de desarmar a esos críticos, intento conseguido en parte mediante una serie de omisiones, como cuando en la sección sobre el sistema locomotor se ha suprimido mucho detalle — siempre tedioso — de los enlaces musculares y de la osteología clásica; en parte por medio de un esquema que relaciona la estructura y la función, de donde resulta un texto más ameno y asimilable: el mejor ejemplo lo encontramos en el estudio por el Profesor Sir Solly Zuckerman de las glándulas cerradas. El profesor Sir Wilfrid Le Gros Clark aporta un excelente estudio del sistema nervioso central en sólo 129 páginas, resistiendo con éxito la tentación de no

omitir nada, aunque habrá quien piense que la *Formatio reticularis* de la médula espinal merece más de las dos líneas que aquí recibe. Del mismo modo, se encuentra un estudio satisfactorio y nada prolijo de las principales características del sistema digestivo, por el Profesor W. J. Hamilton, en el que se mantiene el equilibrio entre la anatomía macro y microscópica. Sin embargo, parece imposible que un anatomista estudie el peritoneo si no es a la manera tradicional, llevándolo de un lado a otro, hasta que el lector se siente como en el centro de un laberinto sin salida. El libro no contiene un tratamiento sistemático de la embriología, pero cada sección incluye un breve resumen de los más importantes desarrollos.

La obra está profusamente ilustrada con 796 dibujos a medio-tono, algunos en color, algunas planchas radiográficas y microfotografías, la mayoría de ellas muy excelentes. G. M. WYBURN

MEDICINA

BLICKE, F. F. y COX, R. H. (Compiladores): *Medicinal Chemistry*, Vol. III. VI + 346 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 84s.

Tercer volumen de una serie que se propone resumir las propiedades biológicas de las substancias, especialmente para uso de químicos y farmacólogos a quienes interesa la preparación y prueba de nuevos medicamentos. Trata de la Metadona y analgésicos afines, de los germicidas amónicos cuaternarios, los diuréticos no mercuriales, y los análogos de la fisostigmina. En esos capítulos no se insiste tanto en el estudio químico y de la acción fisiólogica de esos compuestos como en los métodos de evaluación de su actividad y en la correlación estructura-actividad. Casi dos terceras partes de la obra están ocupadas por tablas que relacionan la estructura de los compuestos a su actividad biológica. Esa es la característica principal de este volumen y por ella debe ser de gran utilidad a todos los que se ocupan de la preparación de nuevos agentes terapeúticos. J. R. P. O'BRIEN

INDUSTRIA QUIMICA

FERRI, Cesare: *Guida dei principali prodotti chimici*, Vol. I. XVI + 737 págs. Nicola Zanichelli, Bolonia. 1955. Liras 6000.

El amplio programa que sugiere el título de esta colección se desarrolla por medio de la clasificación alfabética en uso. Al tratarse de los aditivos a los productos petrolíferos, recibe especial atención el tetraetilo de plomo y se mencionan también los estabilizadores y anticorrosivos. Se incluyen los aditivos de los aceites lubrificantes y productos auxiliares para las manufacturas textiles y de papel y una interesante sección sobre los combustibles para motores. Los catalizadores se presentan en tablas, nombrándose algunos específicos en relación con distintos procesos; los catalizadores polimerizativos se estudian separadamente. Se incluye un estudio conciso y tabulado de los productos cerámicos. Se describen los combustibles de todas clases y se estudian los detergentes, explosivos, fibras sintéticas, productos fotográficos y pigmentos. Los productos farmaceúticos reciben 159 páginas del texto, en las que colaboran dos autores. En su conjunto, el tema está bien estudiado y se incluyen las fórmulas de numerosos antibióticos importantes, vitaminas, hormonas y antihistamínicos. A veces se encuentra alguna fórmula equivocada.

Existe, inevitablemente, una gran variedad en el tratamiento por los diferentes colaboradores, pero ello es preferible a la seca uniformidad que hubiera resultado de una excesiva planificación de esta obra, que, en conjunto, nos parece valiosa. E. E. TURNER

WARTH, A. H.: *The Chemistry and Technology of Waxes* (segunda edición). VII + 940 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 144s.

Esta edición incluye una descripción muy completa de las ceras «naturales» (animales y vegetales), fósiles, ligníticas, petrólicas, «sintéticas» y compuestos de todas clases, con un capítulo introductorio sobre los componentes químicos de las ceras (el cual, sin embargo, se ocupa casi exclusivamente de los de las éster-ceras naturales), y dos capítulos finales sobre los métodos analíticos y la tecnología de las ceras y los usos de éstas en la industria. La gama de substancias clasificadas técnicamente como ceras es muy amplia y mal definida; por ello, un libro de esta naturaleza debiera ser todo lo claro y explícito posible. Por desgracia, en este caso el tratamiento es, en muchos respectos, difuso, lo que quita valor a una obra que, por lo demás, representa un completo y detallado estudio de numerosas substancias, naturales y artificiales, con propiedades céricas, sin tener en cuenta si hasta ahora han tenido o no aplicación industrial. Además, se incluyen informaciones, antiguas y recientes, sobre ceras, sin apenas comentarios críticos sobre la relativa exactitud de los datos publicados, a veces contradictorios.

Aparte de esos defectos — tanto más lamentables cuanto que el tema de la obra es en sí complejo y mal definido — el libro es una valiosa adición a los estudios tecnológicos de una materia en la que escasean las obras que puedan servir de guía. T. P. HILDITCH

ARTES APLICADAS

PLENDERLEITH, H. J.: *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. IX + 373 págs. Oxford University Press, Londres. 1956. 63s.

Es éste un libro cuya falta se ha hecho sentir durante los 30 años últimos. Los conocimientos que su autor posee sobre la materia son probablemente únicos, lo que hace que su obra se convierta inmediatamente en un texto clásico. Está destinado al coleccionista, al arqueólogo, al museólogo y al técnico de la conservación; una de las características más sobresalientes es su gran amplitud al estudiar un tema que interesa desde numerosos puntos de vista. Cualquiera que sea la disciplina del lector, le habrá de interesar, y hallará extremadamente útil su lectura.

El contenido es notable en dos sentidos. Por un lado nos impresiona la magnificencia de los tesoros artísticos que han pasado por las manos del autor y de sus colaboradores en el Laboratorio del Museo Británico, y la variedad y complejidad de los problemas que presentan. Nos causa envidia tan gran oportunidad y, al mismo tiempo, nos asusta la enorme responsabilidad de tal tarea, aunque la sabemos encomendada a manos muy capaces. Por otra parte, es vigorizador hallar que en este trabajo una cuchara y un palillo son a veces instrumentos de gran eficacia.

Estas labores exigen el empleo de métodos eléctricos, químicos y mecánicos, obteniéndose los mejores resultados mediante una juiciosa coordinación de todos ellos. Inevitablemente se sigue que cada problema exige particular atención.

El libro está redactado con esmero, buen gusto e inteligencia, y deja al lector con una mezcla de respeto y curiosidad insatisfecha. L. BIEK

HISTORIA DE LA CIENCIA

DOUGLAS, A. Vibert: *The Life of Arthur Stanley Eddington*. XI + 207 págs. Thomas Nelson & Sons Ltd., Londres. 1956. 25s.

Arthur Stanley Eddington era, sobre todo, un pensador, no un hombre de acción; y es mucho más difícil escribir la biografía de una persona que ha pasado la mayor parte de su vida en su estudio que la de quien ha participado en importantes acontecimientos. La Dra. Vibert Douglas ha conseguido, sin embargo, componer un admirable relato de la vida, trabajos científicos y concepciones filosóficas de un hombre tranquilo, reservado y poco demostrativo, que nunca buscó la celebridad.

La obra reseña excelentemente el desarrollo de los trabajos científicos de Eddington sobre las mociones estelares, la estructura de los astros y la física estelar, así como sobre la relatividad y la teoría fundamental. Eddington fue el primero en la Gran Bretaña que comprendió la importancia y significación de la relatividad general, y su exposición de la teoría ayudó mucho a la aceptación de ésta. Fue además el director de una de las dos expediciones británicas que en 1919 establecieron la primera verificación de la postulada desviación de los rayos luminosos en un campo gravitacional. Eddington combinaba una clara comprensión de los problemas de la astronomía observacional con una notable intuición física y capacidad matemática.

Sus trabajos sobre la estructura estelar, la constitución interna de las estrellas y la naturaleza de la materia interestelar le conviertieron en uno de los iniciadores de lo que se ha convertido en importante rama de la astronomía moderna. Las reuniones de la *Royal Astronomical Society*, en las que presentó sus resultados fueron muy interesantes y están vívidamente descritas en la presente obra.

Eddington ejerció una gran influencia sobre el desarrollo del pensamiento moderno por medio de su interpretación — en conferencias y escritos — de las nuevas nociones que venían a revolucionar nuestra concepción del universo. Este libro nos relata con gran acierto la evolución de las ideas filosóficas de Eddington.

H. SPENCER JONES

NEEDHAM, Joseph; *Science and Civilisation in China*. Vol. II, *History of Scientific Thought*. XXII + 696 págs. Cambridge University Press, Londres. 1956. 80s.

Aunque la época del enciclopedismo ha pasado ya, parece que aún hay muchas personas con una mente enciclopédica y con una diligencia capaz de producir todas las obras recogidas en la bibliografía (págs. 585–683) de este volumen, que se propone realizar un estudio general de la filosofía china y revelar su influencia sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología chinas.

Sin embargo, sólo muy recientemente han comenzado a ocuparse de la filosofía china especialistas con la necesaria preparación moderna. La primera historia del pensamiento chino realmente adecuada, por Feng Yu-lan, apareció en 1934, y su traducción inglesa en 1953. Y el chino clásico es una lengua de tal concisión que el traductor debe conocer toda una filosofía antes de comenzar su labor.

Las tesis de Needham provocarán fuertes reacciones. Difícilmente puede decirse de Wang Chhung (págs. 368–86) que es «uno de los más grandes hombres de su nación en cualquier momento de su historia», pues todo lo que hizo fue ofrecer una versión muy amena, pero mezclada con supersticiones, del completo naturalismo tomado de Hsün Tzu a través de su maestro Pan Piao, padre del gran historiador. Wang Chhung muestra poca originalidad filosófica, mientras que Hsün Tzu, a quien Needham disvalora (págs. 26–29), fue una de las influencias dominantes en todo el confucianismo. Si el naturalismo fomenta la ciencia, como supone Needham, Hsün Tzu fue más científico.

Aunque gran parte de este libro es inevitablemente tentativo, contiene también buenos estudios. La comparación de las «escalas de almas» griega y china (págs. 21–26) es interesante. Hay un buen estudio del taoísmo (págs. 33–164) en el que se señala tanto la relación como la ausencia de la misma entre este culto y la ciencia china. El tratamiento de los mohistas posteriores (págs. 171–84) es excelente, como el estudio de Tsou Yen (págs. 232–73). Aunque Needham reconoce que Tsou Yen no postulaba «elementos» en nuestro sentido de la palabra, sino cinco «fuerzas», sin embargo continúa llamándolos «elementos». Su opinión de que el concepto moderno de «organismo» se deriva, a través de Leibniz, del pensamiento chino (págs. 279–303), aunque plausible, no me parece probada. Leibniz fue un pensador original que no necesitaba estímulos chinos. La sección mejor de esta obra es el estudio de la ley natural (págs. 518–83).

Con todo, este libro es un notable intento de síntesis, para conseguir la cual aún está por hacer casi todo el trabajo preparatorio. HOMER H. DUBS

Réaumur's Memoirs on Steel and Iron (traducción al inglés de Anneliese Grünhaldt Sisco). XXXIV + 396 págs. The University of Chicago Press, Chicago; Cambridge University Press, Londres. 1956. 45s.

La traducción de los famosos ensayos de Réaumur sobre el hierro y el acero (1722) al inglés tiene especial valor debido a que ésta es la primera versión de parte de las memorias completas a dicha lengua. La traducción va precedida por un ensayo en el que el Profesor C. S. Smith estudia la significación del trabajo de Réaumur y el estado de la ciencia metalúrgica en la época en que escribía. R. A. F. de Réaumur (1683–1757), a quien hoy se conoce sobre todo por su escala termométrica, se interesó en todas las ramas de la ciencia pura y aplicada; sus estudios sobre el hierro y el acero comenzaron hacia 1716, resultando en el actual tratado de 1722 y en otros escritos metalúrgicos leídos ante la Academia Francesa en los cuatro años siguientes; después no publicó nada más sobre la metalurgia. En tan breve período realizó importantes aportaciones a la tecnología industrial. Sus nociones sobre el hierro y el acero, recogidas en estas memorias de 1722 significaron, como dice el Profesor R. F. Mehl (*A Brief History of the Science of Metals*, Nueva York, 1948, págs. 5–6), «una verdadera premonición», una notable anticipación de nuestros conocimientos actuales. En su estudio del tamaño del grano del acero cementado, Réaumur se anticipó a muchos estudios norteamericanos modernos sobre el tamaño granular de la austenita. Una de las invenciones más importantes de Réaumur, que consistía en un método para hacer maleable el hierro colado, puede haber sido una reinvención de un proceso anterior, patentado en 1671, ideado por el Príncipe Ruprecht von der Pfalz, cuyo abuelo materno fue James I de Inglaterra. Tanto las invenciones de este príncipe como las de Réaumur cayeron en el olvido hasta que fueron resucitadas en Inglaterra poco después de 1800.

H. R. SCHUBERT

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

SHAMOS, M. H. y MURPHY, G. M. (Compiladores): *Recent Advances in Science: Physics and Applied Mathematics.* XI + 384 págs. New York University Press, Nueva York; Interscience Publishers, Nueva York y Londres. 1956. $7,50.

Colección de informes redactados por doce distinguidos científicos americanos sobre los recientes progresos en sus respectivas ramas de estudio de la física y matemáticas aplicadas. Es resultado del primer coloquio sobre recientes progresos de la ciencia celebrado en la Universidad de Nueva York a principios de 1954. Aunque se supone que el lector posee cierta preparación científica, no se necesita un conocimiento especializado de los temas tratados.

POTTER, E. C.: *Electrochemistry: Principles and Applications.* XII + 418 págs. Cleaver-Hume Press Ltd., Londres. 1956. 50s.

Texto muy completo en el que se subrayan los principios y su relación con las aplicaciones generales, destinado tanto para el estudiante como para el especialista de electroquímica. Se supone en el lector un conocimiento de matemáticas y química equivalente al de un estudiante universitario de primer año. Contiene una serie de ejemplos numéricos para demostrar algunas nociones teoréticas, y una corta bibliografía.

PYKE, Magnus: *Automation: its Purpose and Future.* 191 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres, 1956. 16s.

Existe una gran controversia acerca del futuro de la automación en la industria, pero no cabe duda que se trata de un proceso que tendrá notables consecuencias. Este libro está destinado principalmente al lector general, y se propone describir todo lo conseguido en ese terreno y lo que puede razonablemente esperarse en un futuro inmediato. Se tratan las consecuencias sociales de la automación, que evidentemente habrán de influir notablemente sobre su aplicación.

WOOLDRIDGE, S. W.: *The Geographer as Scientist.* XII + 299 págs. Thomas Nelson and Sons Ltd., Londres. 1956. 35s.

Se trata de una colección de dieciseis conferencias y trabajos preparados por el Profesor Wooldridge durante 25 años de labor pedagógica y de investigaciones. La selección es muy cuidadosa e ilustra las ideas del autor sobre cuestiones fundamentales relacionadas con el alcance y carácter de la geografía.

DUDDINGTON, C. L.: *The Friendly Fungi.* 188 págs. Faber and Faber, Londres. 1957. 21s.

Este libro, destinado al público general, representa un nuevo enfoque del problema de ciertos nematodos parásitos de las plantas, que causan graves daños. Describe algunos hongos de fácil cultivo que atacan a los nematodos y pueden servir por lo tanto de arma antiparasitaria.

ROFF, W. J.: *Fibres, Plastics and Rubbers.* XVI + 400 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., Nueva York. 1956. 63s.

Libro de consulta bien documentado para los que se ocupan de investigaciones industriales. Recoje, en forma adecuada para rápidas referencias, gran cantidad de datos sobre las propiedades químicas, físicas y generales de la mayoría de los altos polímeros más comunes, tanto naturales como sintéticos. Concluye con una breve historia de los polímeros.

HOLMSTROM, J. Edwin: *Records and Research in Engineering and Industrial Science* (tercera edición, nuevamente redactada y aumentada). XII + 491 págs. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 60s.

La vasta y siempre creciente cantidad de literatura científica hace cada día más difícil la búsqueda de datos e informaciones. Este libro, cuyo autor es el funcionario de la UNESCO encargado de la documentación y de la terminología científicas, es una guía detallada de las fuentes de todo tipo de información técnica.

DESTRY, D. H. y HARBOURN, C. L. A. (Compiladores): *Vapour Phase Chromatography.* XV + 436 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., Nueva York. 1957. 70s.

Contiene los trabajos presentados en un coloquio sobre cromatografía de gases organizado por el *Institute of Petroleum* en mayo de 1956. Incluye los debates y recomendaciones sobre nomenclatura.

PASCAL, Paul (Compilador): *Nouveau traité de chimie minérale. Vol.* X: *Azote-phosphore.* XXXIX + 963 págs. Masson et Cie., París. 1956. Rústica: Frs. 6600; pasta: Frs. 7500.

Este es el Volumen X — aunque hasta ahora sólo se ha publicado uno — de lo que será una obra muy completa (en 19 tomos) sobre la química inorgánica, compilada bajo la dirección del Profesor Pascal. Casi dos terceras partes del presente volumen están dedicadas al nitrógeno — por el Profesor Pascal mismo — y el resto al fósforo, por el Profesor Dubrisay. Según indicamos para el Volumen I, el tratamiento es muy completo; contiene gran cantidad de datos y una extensa bibliografía. Es evidente que, cuando esté completa, esta obra será uno de los grandes libros de consulta en la esfera de la química.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Vol. II. 345 págs. The Royal Society, Londres. 1956. 30s.

Segundo volumen de la nueva serie de necrologías de los miembros de la *Royal Society.* Sigue el modelo del volumen anterior y contiene las biografías de 22 miembros fallecidos en 1955–56. Cada una de ellas reseña numerosos datos personales, una valoración de sus trabajos y una lista de sus publicaciones.

MUNITZ, M. K. (Compilador): *Theories of the Universe.* X + 437 págs. The Free Press, Glencoe, Illinois. 1957. $6,50.

Este libro se propone presentar una historia de la cosmología, para uso del público general, por medio de una selección de escritos no técnicos de los investigadores que han representado un papel importante en el desarrollo de estos estudios. La escala cronológica es muy amplia, cubriendo desde Aristóteles, Platón y otros filósofos de la antigüedad clásica hasta Einstein, Hubble y otros cosmólogos de nuestros días.

Notas sobre los colaboradores

H. A. KREBS

Nació en 1900 en Hildesheim, Alemania, y estudió medicina en las universidades de Göttingen, Freiburg, Munich y Berlín. Más tarde trabajó con el Profesor Otto Warburg y con el Profesor S. J. Thannhauser en la Clínica Médica de Freiburg. En 1933 llegó a Gran Bretaña como refugiado y se incorporó a la Escuela de Bioquímica de Sir Frederick Gowland Hopkins, en Cambridge. Desde 1935 hasta 1954 enseñó en la Universidad de Sheffield, primero como profesor de farmacología y más tarde como catedrático de bioquímica. Es miembro de la Royal Society y en 1953 recibió en coparticipación el Premio Nobel de Medicina. Desde 1954 es catedrático de bioquímica de la Universidad de Oxford. Sus investigaciones se han referido principalmente al metabolismo intermediario.

D. McKIE

Nació en Monmouthshire en 1896 e ingresó en la Universidad de Londres, graduándose en 1920. Es hoy profesor de historia de la ciencia en dicha Universidad. Ha publicado numerosos trabajos sobre la historia de la química y, entre ellos, un autorizado libro sobre la vida y obras de Lavoisier.

M. W. H. BISHOP

Nació en 1923 y estudió en la Universidad de Cambridge. Trabajó durante tres años en el *Iron and Steel Institute* y en la *British Iron and Steel Research Association* estudiando los métodos de prevención de las incrustaciones y corrosión en la quilla de los barcos. En 1947 regresó a Cambridge, incorporándose en 1947 al Consejo de Investigaciones Agrícolas (Sección de Reproducción Animal) donde por primera vez se ocupó en estudios fisiológicos de los espermatozoos y fertilización de los mamíferos. En 1955 ingresó en el personal de la División de Biología Experimental del *National Institute for Medical Research.*

C. R. AUSTIN

Nació en 1914 en Australia y estudió en la Universidad de Sydney. Perteneció al cuerpo de investigadores de la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* de Australia, desde 1938 a 1954, dedicándose a la investigación de los factores bioquímicos de las toxemias de gravidez de las ovejas, la preparación de «raciones de hierro» especiales para las tropas en campaña, y la reproducción en las ovejas. Se incorporó al personal de investigación del *Medical Research Council* de Gran Bretaña en 1954. Actualmente se ocupa en investigaciones sobre la fertilización de los mamíferos y fenómenos afines. Es Secretario de la Sociedad de Endocrinología desde 1956.

L. F. BATES

Nació en Kingswood, Bristol, en cuya universidad estudió. Desde 1920 a 1924 realizó investigaciones en Bristol y en el *Cavendish Laboratory*, Cambridge. Ingresó a continuación en el cuerpo docente de la Universidad de Londres, donde fue nombrado profesor de física en 1930. En 1936 fue nombrado catedrático de física en Nottingham, donde ha ejercido la función de Vicerrector de la Universidad. Su escuela de investigaciones en Nottingham es bien conocida por sus trabajos en magnetismo experimental. Es miembro de la *Royal Society* y ha sido Presidente de la Asociación de Profesores Universitarios (1938–39) y de la *Physical Society* (1950–52). Su libro *Modern Magnetism* y su publicación *Sir Alfred Ewing* (British Council) son bien conocidos.

P. W. BRIAN

Nació en Birmingham en 1910 y estudió en la Universidad de Cambridge. Trabajó en la Estación de Investigaciones de Long Ashton desde 1934 hasta 1936, fecha en que se incorporó a la firma *Imperial Chemical Industries Limited* como micólogo en su Estación de Investigaciones de Jealott's Hill. Desde 1946 es Director del Departamento de Microbiología de los Laboratorios de Investigación de Akers. Ha publicado numerosos trabajos sobre la actividad biológica de los productos metabólicos de los hongos.

JOHN FREDERICK GROVE

Nació en Sheffield en 1921 y estudió en la Universidad de Londres. En 1941 se incorporó a la firma *Imperial Chemical Industries Limited* como investigador químico, y fue nombrado Jefe del Departamento de Química Orgánica de los Laboratorios de Investigación de Akers. Sus publicaciones tratan principalmente de los productos químicos antipesticidas, de la química de los productos móhicos y de la aplicación de los métodos físicos al estudio de los problemas de la química orgánica estructural.